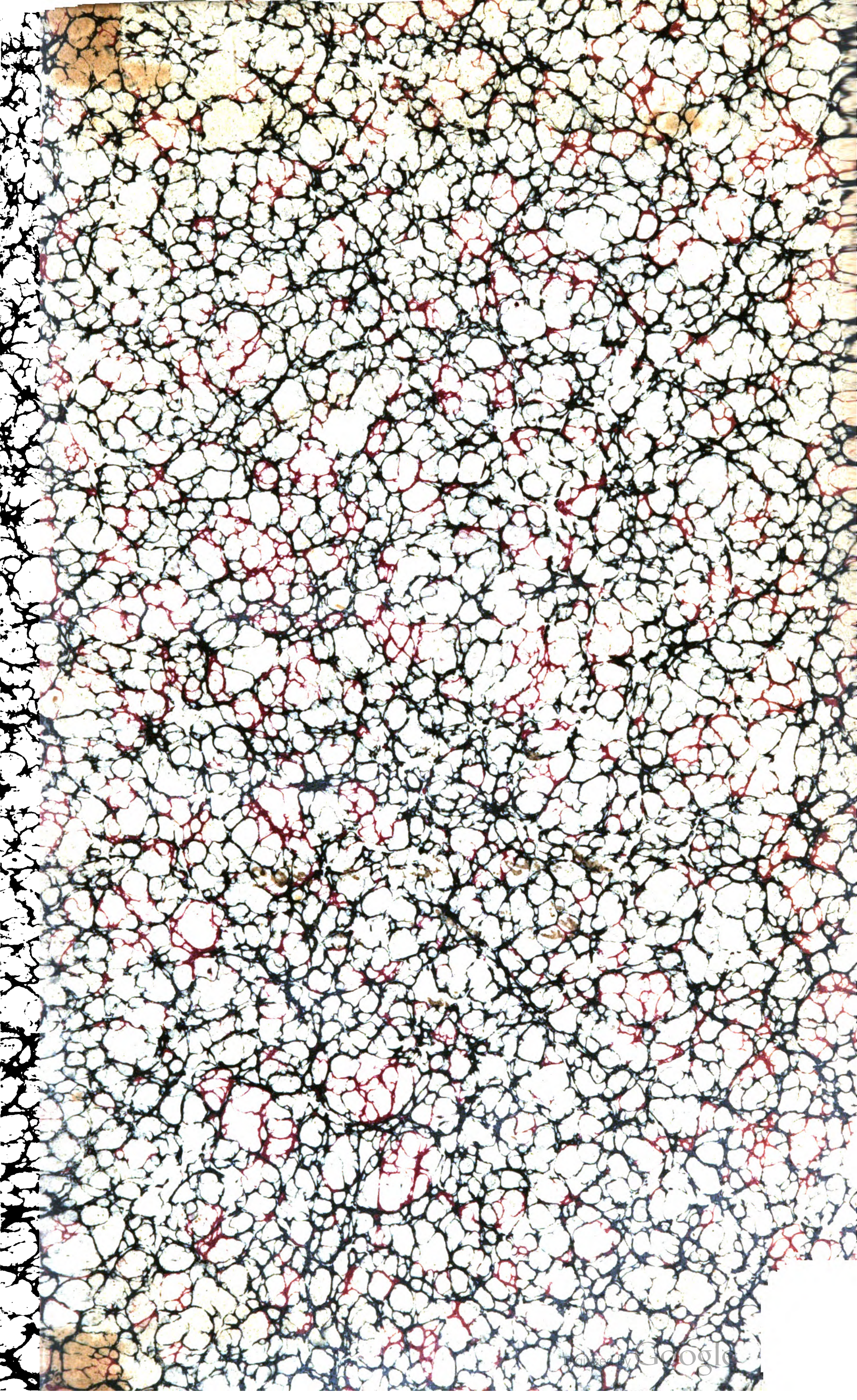




COURS

DE

PHYSIQUE GÉNÉRALE

APPLIQUÉE AUX ARTS,

A L'USAGE

DES COLLÉGES, DES PENSIONS, DES ÉCOLES NORMALES PRIMAIRES ET DES JEUNES GENS DE TOUTE PROFESSION,

PAR L.-J. GEORGE,

SECRÉTAIRE DE L'ACADÉMIE DE BESANÇON,

ANCIEN PRINCIPAL ET PROFESSEUR DE SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES EN L'UNIVERSITÉ ET AUX COURS PUBLICS INDUSTRIELS DE NANCY; MEMBRE TITULAIRE ET CORRESPONDANT DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES NATIONALES, DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE TURIN (SAVOIE), ET DE L'INSTITUT HISTORIQUE DE FRANCE.

Quatrième Édition,

Corrigée avec soin, augmentée d'un grand nombre d'applications intéressantes et utiles.

PARIS,

HACHETTE, LIBRAIRE, RUE PIERRE-SARRAZIN; MAIRE-NYON, LIBRAIRE, QUAI CONTI; RORET, RUE HAUTE-FEUILLE; POILLEUX, QUAI DES AUGUSTINS.

NANCY,

VIDART, LIBRAIRE-ÉDITEUR; GRIMBLOT ET SENEF, LIBRAIRES.

BESANÇON. — BINTOT, LIBRAIRE.

1838.

OUVRAGES DU MÊME AUTEUR.

Sciences mathématiques.

1° **ARITHMÉTIQUE DES ÉCOLES PRIMAIRES** en 22 leçons; 5e édition (1837) . . . . 1 fr. » c.

2° **COURS COMPLET D'ARITHMÉTIQUE**, à l'usage des écoles normales primaires, des pensions et des colléges; 11e édition, 1 vol. in-8° (1838) . . . . 3 »

3° **ÉLÉMENS D'ALGÈBRE**, renfermant tout ce qui est exigé de cette science pour l'admission aux Écoles royales de Saint-Cyr, de la Marine et Forestière, destinés aux divers établissemens d'instruction secondaire, aux écoles normales et aux écoles supérieures primaires; 4e édition, in-8° (1837) 3 75

4° **RECUEIL DE PROBLÈMES NUMÉRIQUES** relatifs aux équations des deux premiers degrés; 2e édition . . . . 3 »

5° **COURS DE GÉOMÉTRIE PRATIQUE**, à l'usage des cours publics industriels, des écoles normales primaires, des colléges, etc. 3 75

6° **ART DE LEVER LES PLANS**; 5e édition, in-8°. 1 50

7° **LEÇONS DE DESSIN ET DE LAVIS DES PLANS**; 4e édition, figures noires 1 50

Avec dessins coloriés. 3 »

Sciences physiques.

1° **COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE** appliquée aux Arts; 4e édition (1838). 3 50

2° **LEÇONS D'ASTRONOMIE PHYSIQUE**; 2e édition. 3 50

3° **TRAITÉ DE SPHÈRE**; 3e édition, in-8°. 1 50

Histoire.

HISTOIRE DE FRANCE, sous les deux premières races, précédée d'un précis sur l'origine et les mœurs des Gaulois et des Francs jusqu'à la monarchie; ornée de plans et lithographies. 1 vol. in-8° en deux parties 6 50

NANCY, IMPRIMERIE DE DARD, Rue des Carmes, 20.

Ce Cours de Physique générale, rédigé sur un nouveau plan, et jusqu'alors unique dans son genre, a de plus l'avantage d'être à la portée de toutes les intelligences. Il comprend les définitions, quelques observations sur les sens, sur l'origine des idées, et indique la marche qu'on doit suivre dans la recherche des diverses propriétés des corps. Il expose toutes les propriétés générales de la matière, telles que l'*étendue*, la *figurabilité*, la *divisibilité*, l'*impénétrabilité*, la *porosité*, la *compressibilité*, etc.; démontre leur existence par le raisonnement et l'expérience; considère les effets qu'elles produisent sur les corps solides et fluides, leur application aux arts, à l'économie rurale et domestique, aux travaux de l'industrie. Il traite de l'Inertie et de ses lois; de la Mobilité; du mouvement en général et de ses différentes espèces.

Des notions de Statique y développent avec clarté les principes de cette partie de la Mécanique dont la connaissance est si utile dans les Arts, soit pour construire les machines, soit pour les diriger et en obtenir les effets les plus puissans. Là, on trouve l'explication de la Balance et de la Romaine; l'usage du Levier et du Tour dans les Arts et Métiers; la description, l'emploi et les applications variées d'un grand nombre de machines simples et composées.

La communication du mouvement, le mouvement curviligne, la force centrifuge, la pesanteur ou *gravité*, viennent après, et y sont rapportés d'une manière assez étendue et satisfaisante. Des applications intéressantes et utiles, les unes à la Marine, à l'Equitation, à l'Artillerie, à la Pyrotechnie, à l'art du musicien; d'autres relatives à la Géographie, à la recherche de la figure de la Terre, à la mesure du temps, séparent les théories, et procurent autant de repos qui délassent l'esprit. La recherche du centre de gravité, l'examen des diverses positions d'équilibre, et leur application au mouvement oscillatoire, à quelques jeux mécaniques, au chargement des voitures, à la marche et aux différentes positions de l'homme, aux porteurs de fardeaux, aux exercices d'équilibre, aux Métiers et aux Arts, précèdent la théorie de l'Attraction; puis, à l'aide de celle-ci, on

explique les phénomènes que présentent les Marées, les circonstances qui les modifient, et on rappelle leurs effets appliqués au travail de l'homme.

L'attraction moléculaire suit, et de ses lois on tire des applications utiles pour la fabrication du plomb de chasse, pour augmenter l'effet des ailes des moulins à vent, celui des voiles des navires, et pour l'étamage des glaces.

On expose après les propriétés générales des fluides; leur pression, l'effet qu'elle exerce sur le fond d'un vase, et en particulier la pression de l'eau considérée comme cause du bouleversement d'une partie de la surface de la terre; l'équilibre des fluides homogènes et hétérogènes; la loi de la nature dans les tubes communiquans; l'équilibre des corps flottans et de ceux plongés dans les fluides; le principe d'Archimède et les lois qu'on en tire; enfin l'application des propriétés des fluides à la construction des digues, au moyen de puiser de l'eau à une grande profondeur de la terre, à l'ascension des liquides dans les tuyaux, à la conduite des eaux, à la construction des jets d'eau artificiels, au danger que l'on court dans la recherche des sources, à l'explication des divers phénomènes que l'art et la nature offrent souvent à nos regards.

Puis, l'invention des aérostats, l'histoire de leur découverte, la relation des plus fameux voyages dans l'atmosphère, l'utilité de ces voyages pour enrichir les sciences, lés périls que l'on court en les exécutant, et l'usage des parachutes, trouvent leur place.

Les propriétés des gaz s'appliquent ensuite à la construction du Syphon, qu'on emploie à transvaser les liqueurs comme pour détourner le cours des eaux; à celle du Vase de Tentale; à l'explication des fontaines naturelles intermittentes.

Le Baromètre, le Thermomètre et les Pompes étaient des instrumens trop utiles, et leurs usages trop précieux pour ne pas faire partie de cet ouvrage. Quelques autres machines suivent l'article des Pompes: la Noria, les roues persiques, la vis d'Archimède, la fontaine de Héron, la machine pneumatique, celle de compression et le tâte-vin; puis les phénomènes des Tubes capillaires avec leurs importantes applications à l'économie végétale et animale, à quelques usages domestiques et aux Arts.

Enfin, la Pesanteur spécifique et ses applications à la recherche de l'unité de poids du nouveau système métrique, à l'Histoire Naturelle, à la Navigation, au Commerce et aux Arts, terminent l'ouvrage.

COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE.

PREMIÈRE LEÇON.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Définitions. — Les sens. — Observations sur les sens. — Origine des idées. — Organes de la sensibilité. — Propriétés des corps révélées par les sens. — Comment il faut se conduire dans la recherche des propriétés des corps.

1. La Physique est une science qui a pour objet la connaissance des propriétés des corps.

2. On appelle *corps* tout ce qui peut affecter nos sens ; c'est une partie déterminée de la matière. La pierre, le bois, l'eau, l'air, sont des corps.

3. On a donné les noms de *molécules* et d'*atomes* aux parties élémentaires infiniment petites qui constituent les corps.

4. Tous les corps se présentent à nous sous l'une de ces trois formes : *solides, liquides,* ou *gazeux*.

Un corps est *solide*, quand ses parties constituantes opposent à leur séparation une résistance plus ou moins forte, comme les pierres, les métaux, les bois ;

Il est *liquide*, lorsque ses molécules glissent sans effort les unes sur les autres, comme l'eau, le vin, les huiles ;

Il est *gazeux*, si ses parties changent de place à la plus légère pression et forment ensemble un tout invisible et impalpable, comme l'air, les vapeurs.

On désigne ici par *vapeurs*, les gaz qu'on obtient des liquides, lorsqu'on les chauffe dans des vases bien fermés ; elles sont presque toutes invisibles et ne doivent pas être confondues avec les *vapeurs condensées*, ou *légers nuages* qui sont formés de gouttelettes d'eau et suspendus dans l'atmosphère.

Les *corps gazeux* s'appellent encore *fluides élastiques* et *fluides aériformes*, à cause de leur extrême élasticité et de leur ressemblance avec l'air.

5. Généralement le physicien comprend sous la simple dénomination de *fluides*, tous les *liquides*, les *gaz* et les *vapeurs*.

6. Par *propriété*, ont entend ce que les corps nous offrent de constant et d'uniforme, soit dans leur manière d'être, soit dans leur manière d'agir. Ainsi, observant que le verre se laisse traverser par la lumière, et qu'il se brise facilement, on en conclut que la *transparence* et la *fragilité* sont des propriétés du verre.

7. Les propriétés des corps ne pouvant se manifester à nous que par l'impression qu'ils exercent sur nos *sens*, nous allons faire connaître ces premiers instrumens dont la nature nous a pourvus pour l'étudier.

Des Sens.

8. Les *sens* sont les organes au moyen desquels l'âme reçoit toutes les affections que l'homme est capable d'éprouver.

Ils sont au nombre de cinq: le *toucher*, le *goût*, l'*odorat*, la *vue* et l'*ouïe.* C'est par eux que l'existence des corps et leurs propriétés nous sont révélées : ainsi, le toucher nous apprend que le bois et le fer sont durs, que le mercure est fluide et l'argile molle; le goût, que l'eau n'a pas de saveur tandis que le vin en a une très-agréable ; l'odorat nous communique le parfum du jasmin, de la violette, et nous dit que la grenade est sans odeur ; la vue nous montre l'or jaune et l'argent blanc; l'ouïe nous fait connaître que l'airain est sonore et que le plomb ne l'est pas.

Chaque sens a son siége particulier que l'on appelle *organe*, et qui est destiné à recevoir l'impression produite par les corps. C'est de la force ou de la faiblesse de ces organes que dépend la plus ou moins grande étendue de notre sensibilité physique, on pourrait même dire de notre intelligence.

DU TOUCHER.

9. Le *toucher* est le plus étendu de nos sens; il a son siége sur toute la surface de notre corps.

10. Les autres sens ne sont, à proprement parler, que des espèces de toucher qui ont un siége particulier et une délicatesse beaucoup plus grande. Car, nous ne voyons que parce que la lumière vient frapper nos yeux; nous n'entendons que parce que l'air, mis en mouvement par les corps sonores, vient à son tour frapper notre oreille; il en est de même pour le goût et l'odorat.

11. On donne spécialement le nom de *tact* au toucher de la main. La sensibilité de cet organe varie d'un individu à un autre; elle peut devenir si grande par l'exercice, qu'on a vu un aveugle hollandais distinguer, par le tact, les différentes espèces de monnaie et même la couleur d'une carte à jouer.

DU GOUT.

12. Le *goût* a son siége principal dans le palais et la langue, dont les fibres nerveuses sont terminées par des houppes moins grosses et moins serrées que celles qui nous transmettent les sensations du toucher; elles sont enveloppées d'une membrane très-poreuse et sans cesse abreuvée d'un liquide qu'on nomme *salive*.

Ce liquide sert à lui donner de la souplesse et à augmenter l'action qu'exercent sur elle les substances alimentaires. Cette action sur les fibres de la langue et du palais est appelée *saveur*, lorsqu'elle ne produit qu'une sensation douce, et *causticité*, quand la sensation est trop vive.

La délicatesse de l'organe du goût diffère beaucoup entre les divers individus. Pour le prouver, il suffit que plusieurs personnes goûtent une même liqueur.

13. Lorsqu'on a dans la bouche une substance sapide et odorante, par exemple, une pastille à la menthe, et qu'on presse les narines entre les doigts, on sent aussitôt que la saveur est changée, qu'elle se trouve réduite à une matière simplement sucrée. La saveur est donc un résultat composé, qui dépend à la fois de l'organe du goût et de celui de l'odorat; et cela nous explique pourquoi dans le rhume de cerveau, où l'organe de l'odorat est peu sensible, nous trouvons la saveur de certains alimens si fortement altérée.

DE L'ODORAT.

14. L'*odorat* a son siége dans les cavités du nez, qui sont revêtues d'une membrane déliée plus ou moins souple, et dans laquelle viennent aboutir une grande quantité de nerfs terminés à la surface, en forme de petites houppes destinées à recevoir l'impression des corpuscules qui émanent sans cesse des matières odorantes.

15. De la plus ou moins grande étendue de cette membrane, appelée *pituitaire*, dépend le plus ou moins de perfection de ce sens dans les animaux. C'est pourquoi les chiens, dont les cellules osseuses sont très-multipliées et dont le nez est très-allongé, ont l'odorat si subtil.

16. Lorsqu'une humeur surabondante vient à engorger cet organe, il perd momentanément une partie de sa sensibilité, comme on l'éprouve dans les rhumes de cerveau.

DE LA VUE.

17. L'œil est l'organe de la *vue*; il nous présente un globe composé de membranes et de différentes humeurs transparentes, à travers lesquelles se brisent les rayons de lumière réfléchis par les

images des objets extérieurs qui viennent se peindre en miniature sur la *rétine* que forme l'épanouissement d'un nerf particulier, appelé *nerf optique*. C'est par le moyen de ce sens que nous jugeons de la distance des corps, de leur éclat, de leur figure, de leur couleur, de leur grandeur.

18. L'œil jouit d'une sensibilité qui varie non-seulement d'individu à individu, comme dans les presbytes et les myopes, mais dans une même personne et pour des circonstances extérieures semblables, d'un jour, d'une heure à l'autre; ce qui fait que dans quelques-uns la force des deux yeux n'est pas toujours la même.

19. Les humeurs qui font partie de l'organe de la vision sont sujettes à éprouver des variations occasionées par des maladies; de là vient que chez les uns la vue s'allonge ou s'accourcit, et qu'elle s'éteint chez les autres. *L'aveugle par accident* diffère de *l'aveugle de naissance* en ce que celui-là possède des notions de couleur et de grandeur que celui-ci n'a pu acquérir, n'ayant jamais fait usage du sens de la vue.

DE L'OUÏE.

20. L'oreille est le siége de l'*ouïe*. Cet organe se compose d'une partie externe qu'on nomme vulgairement *oreille*, et d'une partie interne, que sépare de la première une membrane mince, appelée *tympan*, derrière laquelle est la *caisse du tympan*, cavité pleine d'air.

Le tympan, étant ébranlé par l'air extérieur que frappent les corps sonores, communique son mouvement à l'air renfermé dans la *caisse:* ce mouvement est augmenté dans les cavités du *labyrinthe*, puis transmis *au nerf acoustique*, d'où résulte la sensation du son.

21. La sensibilité de l'oreille n'est pas égale pour chacun de nous; bien plus, elle varie quelquefois d'un instant à l'autre dans le même individu. On sait aussi qu'il existe des *sourds* et des gens *durs d'oreille*, pour lesquels conséquemment la sensibilité est nulle ou peu étendue.

Les sourds de naissance ne peuvent avoir aucune idée du son, et restent *muets* par cela même que les sons de la voix n'ayant jamais frappé leur oreille, il faudrait pour parler qu'ils imaginassent un langage.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX SENS.

22. Le toucher, le goût, l'odorat et la vue n'établissent presque jamais entre l'homme et les objets extérieurs que des rapports matériels; mais le sens de l'ouïe, indépendamment de cette propriété, fait sentir à l'âme toutes les merveilles du chant et de l'harmonie, tous les charmes de l'éloquence et de la conversation;

il fait naître entre l'homme et son semblable la communication la plus intime de leurs pensées réciproques ; il correspond directement avec l'intelligence et devient ainsi le moyen le plus puissant de réunion parmi les hommes.

L'ouïe est celui de tous les sens dont la perte est peut-être la plus fâcheuse, parce que, privant l'homme des délices de la conversation et l'isolant au milieu de la société, elle lui enlève une jouissance plus douce que celle du spectacle de la nature et des perfections visibles des objets. Aussi voit-on les sourds ordinairement plus tristes que les aveugles.

23. Nos sens se développent et se perfectionnent par l'exercice; c'est pour cela que les mains, plus familiarisées avec les objets extérieurs qu'aucune autre partie du corps, parviennent plus aisément à les distinguer par le tact.

24. Les sens s'usent aussi quand on fatigue leurs organes par des impressions trop fortes ; de là vient qu'il est si difficile d'émouvoir le sens du goût dans ceux qui font un usage immodéré des liqueurs spiritueuses ; qu'une lumière trop vive rend insensible une lumière ordinaire, et que quand on sort d'un grand jour pour entrer dans un lieu qui n'est que faiblement éclairé, on se croit dans l'obscurité.

Origine des idées.

25. Nous naissons donc ordinairement avec cinq *sens*, qui sont en quelque sorte pour nous un certificat d'existence, et nous distinguent de la matière brute et végétante. Ces sens sont les organes qui reçoivent les impressions des objets extérieurs, et ils se perfectionnent par l'usage. Ces impressions se nomment *sensations*, et sont l'origine de toutes nos idées. Les *idées* nous viennent de nos sensations; la faculté de les retracer à notre esprit, par le secours des mots, s'appelle *mémoire.* Bientôt nous comparons plusieurs idées entre elles, et de là naît un *jugement*, qui, lorsqu'il est écrit ou prononcé, se nomme *proposition.*

Ainsi, notre entendement se compose de la triple faculté que nous avons d'acquérir des idées, de les retenir et de les comparer : c'est l'exercice de ces facultés, et surtout la perfection de l'organisation, qui fait la différence qu'il y a entre un homme d'esprit et un sot.

ORGANES DE LA SENSIBILITÉ.

26. Pour nous transmettre les sensations, la nature emploie une multitude de nerfs qui tirent leur origine du cerveau, étendent leurs ramifications dans toutes les parties du corps, et se terminent à la peau en forme de petites houppes. Ces nerfs sont des espèces de filets mous et pulpeux; ils reçoivent d'abord directement les impressions

des objets, communiquent ensuite ces impressions au cerveau, et deviennent par là un foyer de mouvement et de sensibilité.

27. Il est facile de prouver que les nerfs sont les organes du sentiment. En effet, si l'on coupe un nerf, la partie du corps où il étendait ses branches devient insensible. Tous les nerfs aboutissant au cerveau, si celui-ci est comprimé ou engorgé, la sensibilité cesse dans toutes les parties du corps : l'apoplexie et la paralysie viennent à l'appui de cette vérité.

Des propriétés des corps constatées par les sens.

28. Différentes propriétés des corps nous sont révélées par les sens :

Le *toucher* fait connaître leur état, leur forme, leur dureté, etc., nous apprend s'ils sont froids, chauds, humides, secs, etc. ;

Le *goût* distingue les saveurs douces, amères, piquantes, acides, fraîches, chaudes, etc. ;

L'*odorat*, les odeurs légères, vives, piquantes, pénétrantes, suffocantes, etc. ;

La *vue* constate l'état, la forme, la grandeur, la couleur, l'éclat, la transparence, l'opacité, etc. ;

L'*ouïe*, la sonorité dans toutes ses nuances ou modifications.

Comment on doit se conduire dans la recherche des propriétés des corps.

29. Les moyens que le physicien met en usage pour découvrir les diverses propriétés des corps sont : l'observation, l'expérience et l'analogie.

30. Pour bien s'assurer de l'existence des propriétés des corps, il faut les examiner chacune séparément, distinguer avec soin celles qui appartiennent naturellement à la matière et dont il est impossible de la dépouiller, de celles qui l'accompagnent exclusivement dans certains états, dans différentes circonstances, et qu'on pourrait lui ôter sans anéantir son existence. Les premières sont *générales* ou communes à tous les corps de la nature : telles sont l'étendue, la figurabilité, la divisibilité, la porosité, l'impénétrabilité, etc. ; les secondes sont *particulières* ou n'appartiennent qu'à certains corps, comme la liquidité, la fluidité, la malléabilité, la sonorité, etc.

De là vient que la PHYSIQUE est *générale* ou *particulière*, selon qu'elle a pour objet l'étude des propriétés générales des corps ou celle de leurs propriétés particulières.

LEÇON IIe.

DE L'ÉTENDUE, DE LA FIGURABILITÉ ET DE LA DIVISIBILITÉ DES CORPS.

Ce qu'on entend par ces propriétés. — Preuves de leur existence dans tous les corps par le raisonnement et l'expérience. — Applications aux arts, aux métiers et à la conservation des substances animales et végétales.

De l'Étendue.

31. L'*étendue* est la propriété qu'ont les corps d'occuper une portion de l'espace.

On conçoit qu'il y a étendue partout où il existe contiguité et distinction de parties. Cette étendue a toujours trois dimensions, *longueur*, *largeur* et *hauteur* ou *épaisseur*, que le physicien ne sépare jamais, parce qu'il étudie les corps tels qu'ils lui sont offerts par la nature, et celle-ci n'en présente aucun qui n'ait ces trois dimensions réunies.

L'étendue d'un corps, considérée par rapport à la grandeur de ses dimensions, est ce que les géomètres appellent le *volume* ou la *solidité* de ce corps.

De la Figurabilité.

32. La propriété que possèdent les corps de se présenter constamment à nous sous une forme quelconque, se nomme *figurabilité*.

33. Il est facile de comprendre qu'un corps ne peut exister sans être figuré. En effet, chaque corps est composé d'une certaine quantité de matière propre de toutes parts limitée, et ces limites sont des surfaces qui diffèrent entre elles par leur nombre, leur forme, leur disposition et leur grandeur. C'est précisément l'arrangement que ces surfaces prennent les unes à l'égard des autres, pour terminer ou limiter un corps, qu'on nomme sa *figure;* et comme cet arrangement peut varier à l'infini, il en est de même de la figure des corps.

La figurabilité est donc une qualité commune et essentielle à tous les corps, quel que soit d'ailleurs l'état sous lequel ils existent.

34. La figure des corps n'est pas l'ouvrage du hasard. Quand on observe la nature, il est facile de se convaincre qu'il est certaines figures régulières qu'elle élabore d'une manière uniforme dans les mêmes circonstances, et qui annoncent de sa part une action soumise à des lois invariables.

Les corps ainsi formés sont appelés *cristaux;* ils résultent d'un changement d'état, du passage de l'*état liquide* à l'*état solide*.

L'opération par laquelle la nature produit les cristaux se nomme *cristallisation*, et l'étude de leurs figures diverses est l'objet de la *cristallographie*.

35. Les sels dissous dans l'eau, en revenant à l'état solide par l'évaporation du liquide, forment des *cristaux*.

Non-seulement la même substance peut donner des cristaux très-variés, mais on voit des substances différentes cristalliser souvent en figures semblables. Par exemple, la chaux carbonatée offre des cristaux en *dodécaèdres* compris sous douze triangles scalènes (fig. 1), en *dodécaèdres pentagonaux* (fig. 2), et en *prismes hexaèdres réguliers* (fig. 3); tandis que le fluate calcaire, le muriate de soude, le sulfure de fer, etc., se présentent constamment sous la forme de *cubes* (fig. 4).

Les cristaux étant composés d'une suite de solides élémentaires, il arrive qu'ils peuvent être divisés en tranches dans plusieurs sens. C'est ainsi qu'à l'aide d'une lame d'acier, on en décompose mécaniquement un certain nombre en *tétraèdres réguliers* (fig. 5).

36. Lorsqu'à la vue simple on ne peut juger de la figure des corps trop petits, on emploie le secours d'un instrument appelé *microscope* * pour la découvrir.

Expériences faites à l'aide du microscope composé.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

37. Après avoir mis quelques grains de sable sur le verre du *porte-objets*, on fait descendre le corps du microscope jusqu'à ce qu'on trouve le point de vue nécessaire, et plaçant l'œil au-dessus et fort près de la première lentille *oculaire*, on voit les grains de sable transparens, semblables à des cristaux de la grosseur d'une petite noix, anguleux et diversement taillés.

On sait qu'en regardant un grain de sable ordinaire, il nous paraît comme un point; sa petitesse fait que l'œil confond ses dimensions. Vu au microscope, il nous paraît plus grand, et son enveloppe nous présente alors très-distinctement des lignes, des angles, des sinuosités, des surfaces, en un mot une figure bien terminée, qui étant comparée à une autre, en laisse apercevoir facilement la différence.

Applications aux arts.

Les grains de sable ayant la forme de petits cristaux fort durs et anguleux, les arts les emploient utilement à divers usages. Ainsi, on s'en sert

---

* Le microscope peut rendre 1000, 10000, et jusqu'à un million de fois plus grand le corps soumis à l'expérience.

pour user ou nettoyer les métaux, ou tout autre corps plus dur, sur lequel la lime ou le tranchant de l'acier ne trouve aucune prise. On les mouille en pareil cas pour aider leur mobilité et pour empêcher qu'en se brisant mutuellement, ils ne perdent, avec leurs petits angles tranchans, la propriété qu'ils ont d'entamer les matières les plus dures.

La transparence du sable blanc le rend propre à d'autres usages : il est la base de tous les ouvrages de verre ; le mélange de quelques sels et l'action d'un feu très-violent qui le divise et en sépare les substances étrangères, met ses parties en état de se lier et de former une pâte susceptible de toutes sortes de formes, et qui, en se refroidissant, prend de la consistance sans cesser d'être diaphane.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

38. Si l'on fait passer sous la lentille inférieure du microscope, le second verre du porte-objets, après y avoir mis quelques gouttes d'eau salée qu'on a eu soin de laisser sécher, en approchant l'œil de la lentille supérieure, on voit des molécules qui paraissent sous des figures semblables, si la préparation a été faite avec un même sel, et sous des figures diverses, si elle renferme des sels hétérogènes.

Par exemple, en se servant du sel marin, les cristaux présentent de petits cubes ; ils prennent la forme d'aiguilles (fig. 6) ou de globules (fig. 7), si on emploie du salpêtre ou du sucre.

Applications à la conservation des substances animales et végétales.

Le sel, à cause de son extrême divisibilité et de la figure anguleuse de ses parties, s'insinue fort aisément dans les pores de toutes les matières animales, végétales, solides ou liquides : ce qui fait qu'on l'emploie avec succès pour les conserver. La corruption n'étant rien autre chose qu'un déplacement de parties, qui change l'état des molécules dans les corps mixtes, tout ce qui pourra retenir ces parties dans l'ordre qu'elles ont reçu de la nature empêchera nécessairement que les composés qui résultent de leur assemblage, ne soient altérés ; et, au contraire, tout ce qui donnera lieu au mouvement des moindres parties, occasionnera corruption. Or, les parties salines, comme autant de petits coins, remplissent les intervalles qui séparent les molécules des corps ; elles soutiennent et appuient les particules solides, arrêtent les progrès de l'évaporation, et conservent au moins pour quelque temps l'état naturel. De là vient que la chair des animaux, quand elle est salée, reste plus long-temps propre à nos usages * ; que les fruits confits dans le sucre, ou mis dans des liqueurs fortes, se gardent pendant plusieurs années ; enfin que certains légumes verts, renfermés dans des vases pleins d'eau recouverte d'huile, ont une saveur aussi agréable après 9 à 10 mois qu'au moment où ils ont été cueillis.

---

* Avant que l'art n'eût appris à embaumer les corps, on avait l'usage de les saler. C'est ce qu'on pratiquait en France à l'égard de nos premiers rois.



Diversité des figures dans les corps animés.

39. L'étonnante variété des figures que l'on observe dans tous les corps bruts et dans les petites masses qui les composent, n'est pas moins surprenante dans le genre animal. Le microscope qui fait voir les angles et les pointes des parties salines, nous découvre aussi un monde de petits êtres vivans, de petits insectes dont on n'eût jamais soupçonné l'existence, et dont on n'eût bien sûrement pas deviné les formes. Les expériences suivantes suffiront pour convaincre de cette vérité.

EXPÉRIENCES.

Ire. Si l'on place sur le verre du porte-objets une goutte d'eau puisée dans quelque marais aux endroits où il y a de la mousse verte, on voit une infinité de petits animaux qui paraissent de différentes espèces, soit par leurs figures, soit par leurs façons de se mouvoir.

Les uns ressemblent à de petites boules, se meuvent en ligne droite, et forment des angles en changeant leurs directions. Les autres sont ovales, ne font que tournoyer; plusieurs laissent apercevoir des pattes, une queue et des antennes; d'autres, composés d'anneaux, se meuvent à la manière des vers de terre, ou comme les sangsues.

IIe. Si la liqueur est une goutte de vinaigre qui ait été exposée à l'air pendant plusieurs jours, par un temps doux, on aperçoit des insectes d'un mouvement très-vif, qui ressemblent beaucoup à de petites anguilles.

IIIe. Enfin, l'eau des huîtres contient un nombre immense de petits animaux qui se ressemblent par la figure et par le mouvement. L'eau dans laquelle ils nagent, paraît un bassin où fourmillent un grand nombre de carpes sans nageoires et sans queue; ils sont en outre fort transparens.

De la Divisibilité.

40. La *divisibilité* est la faculté qu'ont les corps de pouvoir être partagés en parties toujours plus petites.

Cette propriété est assez généralement connue: chacun sait que les barres de métal se rompent sous un certain effort; que les pierres se cassent sous le marteau; que le diamant, qui est le plus dur de tous les corps, peut être réduit en fine poussière qui sert à polir sa surface.

41. Examinons maintenant si tous les corps sont divisibles, et s'ils le sont indistinctement jusqu'au dernier degré de petitesse que nous sommes susceptibles de percevoir.

D'abord, la division physique d'un corps est celle qui en désunit les parties, sans changer leur nature : une masse de craie, par exemple, est divisée physiquement, lorsqu'on l'a coupée en plusieurs morceaux.

MOYEN DE DIVISER LES CORPS.

42. Pour effectuer la séparation des parties constituantes d'un corps, il faut employer une force répulsive supérieure à celle qui les enchaîne. Cette force répulsive peut être l'effet d'une puissance mécanique, tels que la lime, la scie, la râpe, le pilon, etc. On peut aussi se servir de l'action des liquides, tels que l'eau, l'alcohol ou l'esprit de vin, et les acides ; ou bien employer le calorique * qui a la propriété d'écarter les molécules des corps sur lesquels il agit.

Preuves de la divisibilité des corps.

43. Pour les corps qui sont liquides, comme l'eau, il est évident qu'ils peuvent être divisés et subdivisés en parties si petites, qu'elles soient à la fin tout ce que le toucher peut sentir de plus ténu, et tout ce que l'œil peut voir de plus délié ; car en les regardant, nous n'apercevons sur leur surface aucune sorte d'inégalité, et en plongeant la main dans leur masse, il nous est impossible de palper leurs molécules, et de les sentir distinctement, comme nous sentirions des parcelles de sable.

44. On ne juge pas aussi facilement de la grosseur et de la ténuité des dernières parties qui composent les corps solides. Rien n'indique d'avance que parmi eux il ne s'en trouve quelques-uns qui, étant divisés jusqu'à une certaine limite, se refuseraient à une autre division, et dont les parties élémentaires encore grosses et palpables, ou du moins très-perceptibles, ne pourraient être ni subdivisées davantage, ni altérées en aucune manière. C'est pourquoi les physiciens ont soumis à l'expérience tous les corps connus, et ils en ont conclu qu'il n'y a aucune limite perceptible à la divisibilité.

45. Parmi le grand nombre d'expériences qui ont été faites sur les corps pour appuyer cette vérité, il en existe de très-frappantes que nous allons rapporter.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

46. Si l'on se promène dans un jardin orné de fleurs et d'arbres odorans, tels que roses, jasmins, orangers, lilas, etc., l'air est tellement parfumé de leur odeur qu'on la sent partout. Jusqu'à quel

---

* Le *calorique* est un fluide très-subtil, un agent impondérable, dont la présence excite en nous la sensation de la *chaleur*.

degré de ténuité ne doivent pas être réduites ces particules odorantes, et jusqu'à quel point ne doit pas s'étendre leur division, pour se trouver ainsi distribuées dans un si grand espace, elles qui en occupaient si peu dans la fleur qui les a fournies? Cependant elles sont encore divisibles; car il est probable que la manière dont chacune affecte notre organe et qui la fait si bien distinguer des autres, dépend des différentes combinaisons des principes qui la constituent.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

47. Un décigramme (un peu moins que deux grains) de musc, placé dans une chambre où chaque jour on renouvelle l'air, peut s'y faire sentir d'une manière incommode, pendant l'espace de 20 ans, sans perdre sensiblement de son poids, quoique le renouvellement de l'air emporte les particules odorantes qui se dégagent, s'exhalent sans cesse, puisque l'appartement en est continuellement rempli.

Quelle prodigieuse quantité de corpuscules odorans s'est échappée d'un si petit volume, pour remplir chaque année 365 fois l'appartement et pendant 20 ans consécutifs! L'imagination peut à peine concevoir une pareille divisibilité.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

48. Lorsqu'on expose à l'ombre un vase contenant de l'eau, des fleurs et des feuilles, et que plusieurs jours après on regarde une goutte de cette liqueur au microscope, comme il est dit ci-dessus (39), on y remarque une foule de petits animaux dont la figure et les mouvemens ont une variété singulière. Formez-vous l'idée, s'il est possible, de la petitesse des yeux qui les dirigent, de la bouche qui broie leurs alimens, de l'estomac qui les digère et des vaisseaux destinés à la circulation des humeurs.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

49. Avant d'être filée pour la fabrication de nos étoffes, la soie l'a déjà été par l'insecte qui nous la donne, à la faveur d'une filière qu'il a reçue de la nature.

Le fil dont il forme sa coque, a une si grande finesse, qu'il en faut mesurer 3565 décimètres (300 aunes), pour faire le poids de 32 milligrammes (0,58 de grain).

CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

50. On sent distinctement avec la main, un fil de laine ou un fil de soie d'un seul brin, et cependant ces fils n'ont en épaisseur:

La laine ordinaire, qu'un diamètre de 5 *centimillimètres;*
Le mérinos. 2
La soie. 1

Les fourrures recherchées, comme le castor et l'hermine, ont une finesse qui est comprise entre le mérinos et la soie; et la plupart des laines de différentes espèces sont comprises entre le mérinos et la laine ordinaire. Ces filamens si déliés, qui ont une si grande finesse et qui sont à peu près les dernières grandeurs que le toucher puisse percevoir, sont cependant des corps très-composés; chacun d'eux a une structure particulière que la vue seule fait connaître; chacun d'eux contient des élémens divers que la chimie peut séparer encore, mais ces nouvelles particules cessent d'être visibles à l'œil et de tomber sous nos sens.

SIXIÈME EXPÉRIENCE.

51. Le verre, qui est un produit de l'art, et dans la composition duquel il entre plusieurs substances différentes, peut être filé comme la soie.

Pour en faire l'expérience, on prend un tube de verre assez fin, on le présente, vers le milieu de sa longueur, à la flamme d'une bougie, et quand il est échauffé dans cet endroit jusqu'au rouge-blanc, on tire les deux moitiés comme pour les séparer. Alors il se fait entre elles un fil qui a toute la finesse de la soie, et qui en a presque la souplesse. Cependant ce filament de verre est encore assez épais pour former lui-même un tube ayant ses parois et son canal intérieur par lequel il est possible de faire passer des liquides.

SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

52. Les matières colorantes donnent aussi des preuves très-sensibles de l'extrême divisibilité des corps.

L'indigo en particulier nous en offre un exemple bien remarquable: on en délaie un centigramme dans 100000 grammes d'eau, et on obtient une teinte bleue assez intense pour être aperçue dans toute la masse; mais chaque gramme du mélange peut bien être divisé en 1000 parties, de sorte qu'un centigramme d'indigo est susceptible de présenter 100000000 de parties visibles.

Applications aux arts et métiers.

C'est au moyen des molécules de substances colorantes ainsi divisées, puis étendues dans un liquide, que les peintres et les teinturiers donnent, aux surfaces des corps, différentes couleurs pour les embellir ou les préserver de l'influence de l'air. Celles qui sont peintes, toujours cachées sous l'enduit qui les couvre, ne sont plus visibles par elles-mêmes, mais seulement par les couches dont le pinceau les a revêtues. Il n'en est pas de même des surfaces que l'on fait teindre; on les prépare pour l'ordinaire dans un bain, qui, par la chaleur et par l'action de certains sels, les dilate et creuse une infinité de petites cellules propres à recevoir ensuite les principes colorans. C'est principalement cette préparation qui rend les teintures durables et qui empêche que les matières teintes ne se décolorent quand on les lave.

LEÇON IIIe.

SUITE DE LA DIVISIBILITÉ. IMPÉNÉTRABILITÉ.

Divisibilité des métaux. Applications diverses. — Les globules de sang donnent aussi des preuves d'une étonnante divisibilité. — Ce que c'est que l'impénétrabilité. Expérience qui démontre celle de l'air et par suite celle de tous les gaz. — Applications aux arts et à quelques usages domestiques. — Cloche du plongeur. — De la pénétration apparente.

Divisibilité des métaux.

HUITIÈME EXPÉRIENCE.

53. Placez sur trois petits clous ou supports en fer, une pièce de monnaie de cuivre ou d'argent assez mince ; mettez au-dessus et au-dessous de la fleur de soufre que vous enflammerez. A l'extinction du feu, la pièce sera séparée en deux suivant son plan.

Dans cette expérience, la partie la plus subtile du soufre, qui se dégage en brûlant et qui s'insinue de part et d'autre entre les parties du métal écartées par le feu, forme dans l'intérieur de la pièce et selon son plan, une couche de matière étrangère au métal, qui cause la division, et qu'on aperçoit quand les deux pièces sont séparées.

Applications aux arts et métiers.

La même cause qui divise les molécules des corps, les empêche aussi de se joindre. De là l'usage que l'on fait des huiles et des graisses pour tenir séparées des matières dont on veut empêcher l'union ou le mélange ; des substances humides, pour prévenir l'adhérence de celles qui sont grasses ; des poudres absorbantes, quand il règne sur les superficies une fluidité qui les ferait s'attacher : ainsi, le pâtissier se sert de beurre froid distribué par couches dans les pâtes qu'il veut feuilleter ; le cirier enduit de quelque matière liquide l'intérieur des moules où il doit couler la cire ; le fabricant de porcelaine, le faïencier, le potier, posent sur du sable sec les vaisseaux qu'ils ont nouvellement formés dans leurs manufactures ; enfin dans tous les arts et métiers, on a grand soin de bien nettoyer les surfaces qu'on veut assembler ou souder.

L'emploi des colles et des soudures ne renverse pas ce qu'on vient de dire, quoique ce soit interposer une matière étrangère entre les parties qu'on veut joindre.

La raison principale pour laquelle une lame d'eau interposée, par exemple, entre deux morceaux de cire, entretient ordinairement leur séparation, c'est que l'eau n'étant point propre à pénétrer dans les corps gras, et ne s'y appliquant même qu'imparfaitement, son interposition ne peut leur servir de lien commun. Mais il n'en est pas ainsi d'une colle qui, au contraire, s'intro-

duit dans les pièces qu'elle doit attacher ensemble; c'est un corps fluide, quand on l'emploie, et qui par cette raison se moule de part et d'autre dans les creux insensibles des surfaces; mais bientôt perdant ce qu'il a d'humide en pénétrant plus avant, il devient solide, et alors ces petits liens, presque aussi nombreux que les vides qui existent entre les parties solides des surfaces, produisent une adhérence très-considérable. C'est par un effet à peu près semblable que les soudures servent à lier les métaux; un mélange de plomb et d'étain, par exemple, mis en fusion par l'attouchement d'un fer chaud, pénètre dans les premières surfaces du métal dilaté par la même chaleur; un prompt refroidissement donne lieu à ses parties de se rapprocher; la soudure qui perd en même temps sa fluidité, se trouve adhérente de part et d'autre, sert de lien commun aux pièces, et les joint.

NEUVIÈME EXPÉRIENCE.

54. Si l'on met dans un verre quelques petites feuilles de cuivre, dans un autre un peu de limaille de fer ou d'acier, puis que l'on verse dans tous deux environ 15 grammes d'eau-forte, on voit dans le premier un léger bouillonnement; le métal paraît agité, son volume diminue en apparence; la liqueur s'échauffe, elle prend une couleur verte; les feuilles disparaissent, et une vapeur s'élève au-dessus du verre. Dans le second, on remarque des effets à peu près semblables, mais plus prompts, plus violens, et la couleur approche du rouge.

Les parties de l'acide que l'on peut considérer comme autant de petits coins, de petits tranchans, ou de petites pointes aiguës, sont portées entre les parties du cuivre et du fer; chaque petite masse pénétrée de toutes parts disparaît peu à peu par la division de ses atomes nageant dans la liqueur qui les a séparés, et qui, par le mélange, paraît sous une couleur qu'elle n'avait pas auparavant. La chaleur qui naît pendant la dissolution est une suite naturelle du mouvement des parties et de l'action d'une matière sur l'autre; et la vapeur qui s'élève n'est qu'un effet de la chaleur augmentée.

Applications aux arts et à l'économie domestique.

L'eau commune fait à l'égard d'un grand nombre de corps ce que l'eau-forte opère sur les métaux; elle divise les terres, les sels, les sucs des plantes, etc.; elle se charge de leurs parties divisées, et elle les tient séparées, tant qu'elle est en quantité suffisante pour empêcher qu'elles ne se rejoignent.

Les rivières ne paraissent troubles après les pluies, ou après les fontes de neiges, que parce qu'elles reçoivent dans leurs lits des eaux chargées de sable et de terre.

Les sources minérales tirent leurs différentes qualités des matières qu'elles

contiennent en particules si déliées, que leur transparence n'en est point altérée; et la mer est salée, selon l'opinion commune et la plus vraisemblable, parce qu'elle dissout des mines de sels qui se rencontrent dans son lit, comme il s'en trouve dans les autres parties de la terre.

Ces sortes de dissolutions ne décomposent point les corps; elles ne font rien autre chose que diviser leurs masses, et rendre indépendantes les unes des autres leurs molécules ainsi désunies. L'art nous fournit même des moyens très-faciles pour les ramener dans leur premier état; il suffit le plus souvent d'évaporer la liqueur qui les tient en dissolution, et c'est la voie la plus simple, quand leurs parties sont moins évaporables que celles du dissolvant.

Cette pratique est en usage pour séparer le sel de l'eau dans les salines, pour extraire le salpêtre des lessives, pour raffiner les sucres, pour augmenter la force des bouillons qu'un nomme consommés, et généralement pour épaissir toutes les matières où la partie liquide est trop abondante.

On peut encore rassembler ce qui est dissous en le précipitant; ce qui ne manque pas d'arriver toutes les fois qu'on présente au dissolvant une matière plus pénétrable pour lui que celle dont il est chargé; car alors en entrant dans la nouvelle masse, il dépose les autres parties que leur propre poids rassemble au fond du vase: c'est ce qu'on voit arriver, par exemple, quand on verse de l'esprit de vin sur de l'eau qu'on avait saturée de sucre, parce que le premier de ces deux liquides pénètre l'autre, et lui fait abandonner les parties de sucre dont il était chargé.

« Quand on précipite ainsi les métaux, on le peut faire d'une façon cu-
» rieuse, et qui n'est que trop capable d'en imposer à ceux qui ne sont
» point instruits de ces sortes de faits. »

« Si, par exemple, on trempe une lame de fer dans une dissolution de
» cuivre ou de vitriol bleu par l'eau-forte, le dissolvant agira préférable-
» ment sur le fer, et déposera des parties de cuivre en la place de celles
» qu'il détachera de la masse de fer, en sorte qu'à la fin de l'opération on
» tirera du vaisseau une lame qui paraîtra du cuivre; mais c'est abuser de
» cette expérience que de la proposer comme un procédé pour convertir
» le fer en cuivre, puisqu'on ne retire jamais de ce dernier métal que ce
» qu'on en avait fait entrer dans la première dissolution. »

Les infusions, à proprement parler, ne sont encore que des dissolutions ordinairement plus lentes, avec cette seule différence qu'au lieu de faire disparaître toute la masse, elles en détachent seulement une certaine portion.

Les corps que l'on fait infuser sont pour l'ordinaire composés de parties de différente nature: la liqueur qui les pénètre se charge de celles qui cèdent à son action, et les autres qui s'y refusent, demeurent liées sous un volume qui diffère peu de celui qu'elles avaient. Le bois d'Inde, celui de Brésil, etc., trempés dans l'eau commune, lui abandonnent un certain suc que la nature a placé entre les fibres de ces sortes de bois; cet extrait, qui fait une teinture, ne laisse point apercevoir de diminution sensible, quant au volume, dans les morceaux qui en sont dépouillés.

Les infusions deviennent bien plus promptes et plus chargées avec l'eau chaude; la chaleur augmente la liquidité de l'eau, et la rend plus pénétrante;

elle dilate les solides qu'on y plonge, et les rend plus pénétrables; ces deux causes concourent au même effet. Les racines et les fruits que l'on cuit pour servir d'alimens ne se dépouilleraient point dans l'eau froide des sucs âcres et des autres parties désagréables qu'on leur ôte en les faisant bouillir.

Quoique les dissolutions et les infusions n'aient que la vertu de diviser ou d'extraire sans rien changer à la nature des parties qu'elles séparent et qu'elles détachent, cependant elles les rendent propres à des effets auxquels on les destinerait en vain avant l'une ou l'autre de ces deux préparations. Quels secours pourrait-on attendre de la plupart des minéraux ou végétaux qu'on emploie dans la médecine, si une division beaucoup plus grande qu'on ne peut l'effectuer avec aucun tranchant ordinaire, ne procurait à ces mêmes substances une quantité de surfaces suffisantes, des grandeurs et des figures convenables aux parties intérieures du corps animé sur lequel elles doivent agir? Cette agréable variété de couleurs qu'on admire dans les étoffes et dans toutes les matières susceptibles de teintures ne vient-elle pas des infusions en plus grande partie? Des sucs qui se sont épaissis dans les plantes mêmes où la nature les a élaborés, et qui y resteraient en pure perte pour nous, se ramollissent et s'étendent dans l'eau qui les pénètre; ils s'impriment avec elle sur une surface préparée; l'eau s'évapore et l'impression reste.

DIXIÈME EXPÉRIENCE.

55. Quelques coups de marteau suffisent pour donner à une masse d'or du poids de 53 milligrammes (un grain), la forme d'une large feuille. Cette feuille est placée entre deux parchemins et soumise à de nouvelles percussions, qui lui font acquérir beaucoup de surface aux dépens de son épaisseur. Pour éviter le danger de la déchirure qui augmente avec l'amincissement de la feuille, on la met entre deux peaux très-fines qui se trouvent dans l'estomac du bœuf. Elle acquiert, par des percussions réitérées, un degré d'amincissement tel, qu'il faut 300 mille de ces feuilles, appliquées les unes sur les autres, pour faire l'épaisseur de 27 millimètres (1 pouce).

Selon Boyle, cette quantité d'or (53 milligrammes) réduite en feuilles, peut couvrir une surface de 50 pouces quarrés, dont chacun a conséquemment à peu près 27 millimètres de côté: or, si l'on conçoit le millimètre divisé en 8 parties, on aura 46656 petits carrés visibles dans une feuille d'or quarrée de 27 millimètres de côté; et comme il y a 50 de ces feuilles, on en conclura qu'une petite masse d'or de 53 milligrammes peut être divisée en plus de 2300000 parties sensibles à la vue simple. Au moyen du microscope, chacune d'elles redeviendrait une feuille d'or susceptible de nouvelles divisions.

ONZIÈME EXPÉRIENCE.

56. L'art du fileur d'or offre des résultats de divisibilité encore bien plus surprenans que ceux obtenus dans l'expérience précédente.

Avec une quantité de feuilles d'or dont le poids n'excède pas 31 grammes (environ une once), on couvre un cylindre d'argent de 6 décimètres de longueur (près de 22 pouces) et 34 millimètres de

diamètre que l'on fait passer successivement par les trous d'une lame d'acier, qui vont en décroissant. On obtient ainsi un fil d'argent doré, qui a 377958 mètres de longueur (environ 85 lieues terrestres de 2280 toises); on le passe ensuite entre deux rouleaux d'acier poli, ce qui l'allonge de $\frac{1}{7}$, et il en résulte une lame très-mince dorée dessus et dessous, dont l'étendue surpasse 43 myriamètres (97 lieues); les deux faces mises par la pensée à la suite l'une de l'autre présenteront alors une longueur de 86 myriamètres ou de 860000000 millimètres.

Or, nous distinguons aisément le cinquième d'un millimètre; le nombre de parties visibles s'élève donc à plus de 4300000000 dans une petite masse d'or du poids de 31 grammes.

Application.

La prodigieuse extension dont l'or est susceptible, dépend de sa ductilité jointe à sa grande densité; deux qualités également précieuses pour les arts dont le but est d'appliquer ce métal sur la surface du bois, du cuivre et d'autres matières auxquelles il sert à la fois d'abri et d'ornement.

DOUXIÈME EXPÉRIENCE.

57. Le règne organique offre aussi des preuves très-frappantes de la divisibilité de la matière.

On sait maintenant que le sang n'est pas un liquide uniforme tel qu'il paraît à la vue, et que sa substance se compose d'une foule de petits globules flottant dans un liquide particulier qu'on appelle le *sérum*. Ces globules sont sphériques dans le sang de l'homme et des mammifères; ils sont allongés dans les oiseaux et les poissons. Ils varient de grandeur suivant les espèces: dans le *callitriche* d'Afrique, ils sont les plus gros que l'on ait observés, et s'élèvent à $\frac{1}{125}$ de millimètre; dans la chèvre, ils sont les plus petits, et ne vont qu'à $\frac{1}{250}$ de millimètre: ceux du sang de l'homme paraissent constamment de $\frac{1}{150}$ de millimètre. On peut calculer d'après cela qu'il y en a près d'un million dans la goutte de sang d'un millimètre cube qui pourrait être suspendue à la pointe d'une aiguille. Malgré cette petitesse qui les rend invisibles à l'œil nu, ces globules ne sont pas des atomes; car ils peuvent être brisés par des actions chimiques.

Enfin, il y a des animaux complets qui sont aussi petits que les globules du sang et que les plus petites choses perceptibles; et nous les voyons, les étudions et les divisons encore, mais c'est le dernier terme où la vue puisse atteindre.

58. Des expériences et des observations qui précèdent, il suit évidemment, que les particules échappent à nos sens avant de cesser d'être divisibles, et qu'il est par conséquent impossible de décider

si les corps sont divisibles à l'infini, ou si leur divisibilité s'arrête à un certain terme.

Cependant comme le raisonnement poursuit encore la divisibilité de la matière après que nos sens ne peuvent plus la constater, et que l'ensemble des phénomènes de la chimie conduit à admettre l'existence des *atomes*, on arrive à cette conséquence définitive que les atomes sont incomparablement plus petits que les dernières parcelles qu'on peut saisir avec le sens le plus délicat, aidé de l'instrument le plus parfait.

De l'Impénétrabilité.

59. *L'impénétrabilité* est la propriété en vertu de laquelle un corps exclut tout autre corps de la portion de l'espace qu'il occupe.

Cette propriété n'est à proprement parler qu'une conséquence de l'étendue; car pour que deux corps occupassent ensemble le même lieu, il faudrait que l'un d'eux perdît son étendue.

60. L'impénétrabilité est le signe le plus certain de l'existence des corps. Des illusions d'optique en imposent quelquefois à nos yeux; nous sommes tentés de prendre des fantômes pour des réalités: mais en touchant, nous nous assurons du vrai par la résistance que nous éprouvons, et par la persuasion où nous sommes que tout ce qui résiste est un corps.

61. Un homme qui serait réduit au seul organe de la vue pourrait se former une idée de l'étendue des corps, mais il lui serait impossible d'acquérir celle de leur impénétrabilité. C'est au tact que nous devons la connaissance de cette propriété de la matière.

Lorsque nous touchons des corps solides, et que nous faisons effort pour les comprimer, nous éprouvons une résistance qui nous en garantit l'impénétrabilité. Il est donc incontestable que cette propriété appartient aux corps solides.

L'impénétrabilité des liquides ne se manifeste pas d'une manière aussi sensible: la grande mobilité de leurs molécules, l'extrême facilité qu'elles ont à céder sans effort à la plus légère pression, peut faire naître des doutes sur son existence.

Enfin, dans les gaz, cette propriété doit paraître encore moins évidente. L'air atmosphérique nous touche sans cesse; il nous touche partout également. L'habitude nous en a rendu le contact si familier, que nous avons besoin de réflexion pour reconnaître l'impression qu'il fait sur nous. Il oppose à tous nos mouvemens une résistance réelle, mais cette résistance échappe le plus souvent à nos sens et à notre attention. Il importe donc d'établir l'impénétrabilité de l'air atmosphérique par des expériences rigoureuses. L'impénétrabilité de ce fluide une fois bien prouvée, la force de

l'analogie nous conduira à conclure que les fluides aériformes et par suite les liquides, jouissent tous de cette propriété.

EXPÉRIENCE.

62. Après avoir rempli d'eau bien claire les trois quarts environ d'un vase de cristal, et fixé une bougie allumée sur une tranche de liége, que l'on fait flotter sur la surface du liquide, on descend verticalement, l'orifice en bas et au-dessus de la bougie, un vase plus étroit que le premier, et on voit la bougie parvenir jusqu'au fond de l'eau sans s'éteindre.

Le vase que l'on descend verticalement, dans cette expérience, contient un volume d'air qui remplit sa capacité. Cette masse fluide, quoique peu dense, est partout composée de parties solides qui, en vertu de leur impénétrabilité, se comportent, à l'égard de l'eau qu'elles rencontrent, comme tout autre corps dont les parties seraient unies. C'est pourquoi la bougie allumée qu'on a fixée sur la tranche de liége, arrive au fond de l'eau sans s'éteindre.

Quoique l'air renfermé dans le vase s'oppose à l'eau qui fait effort pour y entrer, sa résistance n'est point telle qu'il l'en exclue entièrement.

On verra plus loin que l'air est compressible et qu'il peut se resserrer dans un plus petit espace, quand on l'y force; et qu'un corps plongé dans un fluide y éprouve une pression d'autant plus grande que son immersion est plus profonde.

Ces deux principes une fois bien conçus, il est évident que l'eau doit s'élever dans le vase que l'on fait descendre dans le liquide, malgré la résistance de l'air qu'il renferme; mais à quelque profondeur que le vase soit plongé, jamais l'eau ne réduira à *zéro* le volume de l'air pour en occuper toute la place; ce qui prouve suffisamment l'impénétrabilité de l'air, et par suite celle de tous les fluides aériformes.

Applications aux arts et à quelques usages domestiques.

L'expérience précédente explique : 1° pourquoi, quelle que soit la force employée pour enfoncer le piston dans une pompe, on ne peut jamais parvenir à lui faire toucher le fond; 2° pourquoi l'on ne remplit point un vase, lorsqu'on le plonge dans un liquide, l'orifice en bas; 3° pourquoi l'entonnoir dont le canal s'ajuste trop exactement avec le col étroit d'une bouteille, n'est pas propre à y introduire une liqueur; 4° pourquoi un tonneau plein, percé d'un trou de vrille partout où l'on veut, ne laisse point couler le vin ou liquide qu'il contient *; 5° pourquoi enfin du papier attaché au fond d'un

* Ici, l'air qui se présente au trou résiste à l'écoulement, à moins que le trou ne soit assez grand pour donner en même temps passage aux deux fluides qui coulent alors en sens contraire.

verre ne se mouille point, en plongeant le verre verticalement, l'orifice en bas, dans une masse d'eau, et pourquoi il se mouille, quand le fond du verre vient à être percé d'un trou le plus petit possible.

Cloche du plongeur.

63. L'impénétrabilité bien reconnue de l'air atmosphérique a donné naissance à une machine ingénieuse appelée *Cloche du plongeur*.

Lorsqu'on voulait chercher des perles ou quelques autres matières précieuses au fond de la mer, on employait deux barques fortement liées ensemble, mais assez écartées pour livrer passage à une grosse cloche de métal, qu'on descendait par le moyen d'une grue ou d'un cabestan. Un homme assis dans l'intérieur de cette cloche en sortait pour faire des perquisitions sur le sable ou parmi les pointes des rochers; il venait de temps à autre respirer sous l'appareil et déposer les fruits de ses recherches dans un vaisseau propre à les recevoir. Enfin il tirait le fil d'une clochette pour avertir que ses opérations étaient finies, ou qu'il avait besoin de repos.

Cette machine avait été abandonnée, parce que l'air renfermé sous la cloche, souvent trop resserré par l'ascension de l'eau et vicié par la respiration du plongeur, lui devenait tellement funeste qu'au sortir de l'appareil, il jetait quelquefois le sang par la bouche et par les oreilles. Mais ayant imaginé d'y ajouter un long tuyau de cuir, pour renouveler de temps à autre l'air intérieur au moyen d'une espèce de pompe adaptée à l'extrémité du tuyau qui reste fixé à l'une des barques, on en a repris l'usage dans nos fleuves pour établir ou réparer, à 25 ou 30 pieds au-dessous de la surface de l'eau, les fondations des ponts qui servent de communication aux deux rives.

Une machine ainsi perfectionnée et dans laquelle plusieurs hommes se plaçaient commodément, fut employée à la construction du pont de Bordeaux.

De la Pénétration apparente.

64. Certains corps paraissent se laisser pénétrer par d'autres :

1° Une éponge reçoit et retient intérieurement une grande quantité d'eau; il en est de même d'un morceau de sucre ou de pierre tendre; mais cette eau ne fait que se loger dans les vides qui se trouvent entre les parties matérielles de l'éponge, du sucre ou de la pierre, après en avoir chassé l'air qu'ils contiennent, et elle n'occupe pas réellement la place de leurs parties propres; en sorte que la pénétration n'est qu'apparente.

2° On dit qu'un clou pénètre le bois dans lequel on l'enfonce; que l'eau et l'alcohol mêlés ensemble se pénètrent mutuellement;

cependant il est aisé de comprendre qu'il n'y a ici, comme précédemment, qu'une pénétration apparente. Dans le premier cas, il y a déplacement des parties du bois par le clou qu'on enfonce; mais l'espace que le clou occupe n'est occupé en même temps par aucune des molécules du bois. Dans le second, l'espace occupé par l'eau et l'alcohol réunis est moindre que la somme des espaces occupés séparément par les deux fluides, parce qu'ils ont chassé en se combinant une portion du calorique interposé entre leurs molécules; l'expulsion du calorique est démontrée par la diminution de la température qu'éprouve le mélange.

3° Si à cinq décimètres cubes d'eau on ajoute autant de cendre, le volume du mélange n'a que six décimètres cubes. Quatre dixièmes du volume total ont donc été absorbés par la pénétration apparente.

LEÇON IVe.

DE LA POROSITÉ.

La porosité appartient à tous les corps. — Preuves tirées des trois règnes animal, végétal et minéral.—Applications aux Arts, aux métiers, à l'économie rurale et domestique.

65. Il existe entre les parties matérielles et solides des corps, des interstices, qui varient par le nombre, la grandeur, la figure, et auxquels on a donné le nom de *pores*.

Tels sont, par exemple, les trous que l'on voit dans une éponge, qui sont autant de *pores* de cette substance; tels sont encore les petits trous que l'on aperçoit dans une lame mince de bois qu'on observe avec un microscope.

Les pores ne sont pas toujours des vides absolus; les plus grands surtout qui se trouvent vers la surface sont remplis d'air; d'autres plus petits contiennent au moins du calorique. Cependant il est probable qu'il y a des pores absolument vides: la liberté pour les mouvemens semble l'exiger; car si tout eût été plein dans la nature, on ne concevrait pas comment un corps peut changer de place, puisque la matière est impénétrable et qu'il y en a partout.

66. Il n'existe point de corps dont les parties soient tellement rapprochées les unes des autres, qu'il ne reste entre elles aucun interstice vide de leur propre matière.

La *porosité* est donc une propriété générale qui convient à tous les corps; mais tous ne la possèdent pas au même degré: les uns ont une plus grande porosité que les autres, et cette plus grande

porosité se mesure par la moindre pesanteur à volume égal, parce qu'elle est en raison inverse de leur poids.

67. Les pores les plus ouverts ne sont pas toujours une preuve de la plus grande porosité; le nombre compense et même surpasse quelquefois ce que fait la grandeur. Par exemple, le bois de chêne présente des pores plus ouverts que ceux du liége, et cependant sa porosité est moindre; car, à volume égal, il pèse plus que le liége.

68. Pour prouver la porosité de tous les corps, on en choisit quelques-uns dans chacun des trois règnes de la nature, que l'on soumet à l'expérience, et on conclut celle des autres par analogie.

1° *Preuves tirées du règne animal.*

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

69. Parmi les substances animales, la peau de l'homme se présente en premier ordre, et voici comment un célèbre physicien anglais, nommé Lewenhoëk, en prouva la grande porosité.

Ayant pris un morceau de peau humaine de la grandeur d'une ligne, il le considéra au moyen d'un bon microscope, et y découvrit 120 petits trous ou pores dans le sens de sa longueur. Or, la ligne anglaise vaut un peu moins que la ligne française, et n'admettant que 100 au lieu de 120 pores dans la première, le pouce de notre mesure en renfermera plus de 1200; réduisant encore ce nombre à 1000, pour rendre le calcul plus facile, la longueur de notre pied de roi en contiendra au moins 12000, et un pied quarré 12000 $\times$ 12000 ou 144000000; sachant d'ailleurs que la surface du corps d'un homme de moyenne taille est de 14 pieds quarrés, en répétant 14 fois le résultat 144000000, on trouve 2016000000 pour le nombre de pores dont sa peau est criblée.

70. Pour ne pas révoquer en doute l'existence de cette multitude de pores, il suffit de faire attention à une chose plus étonnante encore qui se passe tous les jours en nous, c'est-à-dire, à la *transpiration insensible*. Cette évacuation continuelle qui varie suivant les temps, les lieux et les saisons, est tellement abondante que, dans l'espace de 24 heures, elle dissipe, suivant les expériences de Sanctorius, les $\frac{5}{8}$ de la nourriture que nous avons prise.

Indépendamment de cette transpiration dont nous n'apercevons pas les effets, il s'en fait une sensible qui n'est qu'accidentelle, et qu'on nomme *sueur*.

71. Les mêmes expériences, répétées par Dodard, qui eut égard à l'âge, ont servi à prouver que l'on transpire plus dans la jeunesse que dans la vieillesse. Mais ces physiciens n'avaient pas distingué l'effet de la transpiration qui se fait par le poumon, et

dont la matière s'échappe au moyen de l'expiration, de celui qui est dû à la ***transpiration cutanée.*** On a donc entrepris de déterminer séparément ces deux effets, et les expériences de Seguin et de Lavoisier ont prouvé que la ***transpiration pulmonaire*** est égale aux $\frac{7}{11}$ de la ***transpiration cutanée.***

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

72. La peau des autres animaux, celle du buffle même, la plus compacte de toutes, est aussi très-poreuse.

On établit sur la machine pneumatique * un tube de verre *ab* (fig. 8), terminé à sa partie supérieure par un flacon de cristal dont le fond est garni d'un cuir de buffle, et dans lequel on a mis du mercure.

Aussitôt que l'on fait mouvoir la pompe, le poids de l'air extérieur force le métal de passer à travers le fond du vase, et on le voit se précipiter sous la forme d'une pluie d'argent.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

73. Sous le récipient de la machine pneumatique, on place un verre rempli d'eau contenant un œuf; on fait le vide, et bientôt on aperçoit de petites bulles d'air qui s'échappent par les pores de la coque et s'élèvent peu à peu à la surface de l'eau.

2° *Preuves tirées du règne végétal.*

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

74. Si l'on met une noix encore fraîche, ou tel autre corps végétal dans un verre d'eau sous le récipient de la machine pneumatique, à mesure qu'on fera le vide, l'air contenu dans la noix se dilatera et sera rendu visible au moyen de l'eau qu'il traversera en forme de petites bulles.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

75. Si l'on pèse une branche récemment coupée à un arbre, qu'on en mastique avec soin la section, puis qu'on la place de nouveau, quelques jours après, sur la balance, on remarquera qu'elle a perdu de son poids; ce qui n'a pu s'opérer que par la transpiration.

76. Les feuilles des plantes sont criblées de pores : on en a compté jusqu'à 172090 sur une feuille de buis, et 577 sur une ligne carrée d'une feuille de lis. C'est par ces pores que les végétaux transpirent, et leur transpiration est bien démontrée par les naturalistes. Hales a trouvé qu'un tournesol de trois pieds de hauteur perdait, en 12 heures, par un temps sec et fort chaud, une

---

* La *machine pneumatique* est une espèce de pompe qui sert à supprimer l'air contenu dans un vase.

livre 14 onces, et que sa perte moyenne était d'une livre 4 onces. Il s'assura également que la transpiration des plantes est proportionnelle à leurs surfaces et à celles de leurs feuilles.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

77. Les bois coupés et secs sont aussi très-poreux.

On fait le vide, avec la machine pneumatique, dans un tube de verre, surmonté d'un godet de bois, dont le fond a 7 ou 8 millimètres d'épaisseur, et dans lequel on a versé de l'eau. Après plusieurs coups de piston, ce liquide passe à travers les pores du fond, et tombe par gouttes dans l'intérieur du tube.

3° *Preuves de la porosité des substances minérales.*

78. Les substances minérales sont plus ou moins poreuses, suivant leur nature et suivant l'arrangement de la matière qui les compose. Les pierres opaques et celles dont les parties sont très-irrégulièrement arrangées, sont en général les plus poreuses.

EXPÉRIENCES SUR LES PIERRES.

79. La craie et toutes les pierres qu'on nomme *calcaires*, sont de même nature que le marbre; il n'y a de différence entre elles que dans l'arrangement des parties; cela suffit pour que leur porosité soit très-différente.

Lorsqu'on verse de l'eau sur un morceau de craie, elle est absorbée à l'instant et pénètre dans les pores; celle qu'on verse sur un morceau de marbre reste à sa surface et n'est point absorbée. De même si l'on jette un morceau de craie dans un verre d'eau, on voit une foule de petites bulles qui s'élèvent; et si l'on y jette un morceau de marbre, on n'aperçoit rien de semblable. Ces bulles proviennent de l'air qui remplissait les pores de la craie et que l'eau en chasse à mesure qu'elle s'y insinue : pour en voir la preuve, il suffit de briser le morceau de craie qui a séjourné dans l'eau, on le trouve mouillé jusqu'au centre, tandis que le morceau de marbre est à peine humide au-dessous de sa surface. Ce n'est pas que le marbre ne puisse aussi à la longue s'imbiber d'eau; mais pour faire passer les liquides dans les corps qui ne sont guère poreux, il faut en général deux conditions, beaucoup de temps et une forte pression.

80. Le verre, le cristal, le diamant et tous les corps transparens ne sont perméables à la lumière, que parce qu'ils sont poreux.

Une *hydrophane*, pierre du genre des agates, étant plongée dans l'eau, laisse échapper de nombreux filets de bulles d'air, à cause des petits intervalles qui séparent ses parties constituantes.

81. Beaucoup de phénomènes naturels nous font juger que les grandes masses minérales n'ont pas moins de porosité que les petites masses sur lesquelles nous pouvons expérimenter. On sait, par exemple, que dans les grottes les plus profondes, l'eau s'infiltre à travers les parois, et qu'elle vient ainsi déposer de toutes parts les diverses cristallisations dont l'assemblage offre un spectacle si surprenant. On sait pareillement que les montagnes taillées à pic éprouvent chaque année une sorte d'exfoliation, dont la porosité est une des causes essentielles. Leurs flancs s'imbibent d'humidité, quand ils sont battus par la pluie ou par les vents humides, le froid de l'hiver congèle cette eau et augmente son volume; il en résulte une rupture d'adhérence dans toutes les couches superficielles, et quand vient le printemps, tous ces petits feuillets se détachent peu à peu et tombent jusqu'à l'automne. C'est ainsi qu'aux pieds des grands escarpemens, s'entassent des couches à peu près de la même épaisseur, dont on peut se servir en Géologie pour remonter aux temps primitifs où les montagnes ont pris la disposition qu'elles conservent aujourd'hui.

EXPÉRIENCES SUR LES MÉTAUX.

82. Les métaux les plus compacts et les plus durs sont poreux.

Quand on enferme de l'eau dans une boule d'or et qu'on la soumet ensuite à une pression assez considérable, on voit le liquide suinter à travers ce métal.

Cette opération faite pour la première fois en 1661, par les académiciens de Florence, fut depuis très-souvent répétée avec des métaux différens, et toujours elle présenta le même résultat; toute la surface de la boule se couvrit de gouttelettes semblables à celles de la rosée.

83. Le platine et l'or, qui de tous les métaux sont les plus pesans, ayant des pores, comme le prouve encore leur dissolution possible dans *l'eau régale*, on en conclut à plus forte raison la porosité de tous les autres corps métalliques.

Application de la porosité à l'économie animale.

Puisque la transpiration joue un si grand rôle dans l'économie animale, on conçoit de quelle importance il est pour la santé de ne pas en arrêter imprudemment le cours. Elle ne peut être entièrement supprimée pendant quelque temps sans danger pour la vie.

C'est à la suppression plus ou moins complète de la transpiration qu'il faut rapporter les rhumes, les fluxions, les pleurésies. On doit prendre pour maxime à cet égard d'éviter le passage subit du chaud au froid, qui, resserrant les pores, arrête tout à coup la transpiration. Pour cela, il est bon de ne pas s'habituer pendant l'hiver à une température trop chaude. Que les enfans,

dit Rousseau, ne soient pas alors renfermés dans les appartemens et les alcoves comme dans des niches ; il est nécessaire, pour fortifier leur tempérament, de les accoutumer de bonne heure aux impressions de l'air : leur peau se durcit en suivant l'instinct de la nature, et ils ne savent ce que c'est que d'éprouver des impressions fâcheuses à la moindre vicissitude de l'atmosphère.

De là on conçoit, 1° l'utilité de la propreté et du bain ; 2° l'action des topiques et autres médicamens externes ; 3° les principes et la propagation des maladies contagieuses ; 4° les vices communiqués à l'air par le rassemblement d'un grand nombre de personnes, surtout si le local est échauffé ou trop petit.

Applications à l'économie rurale et domestique.

Puisque les végétaux transpirent et que les feuilles sont les principaux organes de cette sécrétion, on conçoit de quelle importance il est de les ménager ; pourquoi un arbre, dont les feuilles ont été rongées par les chenilles, ou sont tombées par quelque autre accident, dépérit aussitôt, et que les fruits qu'il peut avoir ne viennent pas à leur point de maturité ni de perfection, la sève étant trop aqueuse, faute d'avoir été élaborée par les feuilles. Il est de même facile de sentir la raison pour laquelle les tiges se fanent à l'ardeur du soleil dans les grandes chaleurs, et pourquoi des arrosemens bien distribués leur rendent leur première fraîcheur. De là vient la nécessité d'émonder les arbres et d'élaguer tout ce qui pourrait les priver des regards bienfaisans du soleil, puisque la lumière influe si fort sur leur transpiration. Aussi voit-on dépérir les arbres trop ombragés ou recouverts de mousse, et dans les clairières, les arbres lancer leurs rameaux du côté où l'accès de l'air est plus facile.

Si l'air s'insinue dans les pores des substances animales ou végétales, il en hâte la décomposition : empêchez la communication, vous parez à ces inconvéniens.

1° C'est par la coque des œufs que s'échappent leurs parties laiteuses ; ils cessent alors d'être *frais* et ne fournissent plus qu'un aliment peu bienfaisant. Pour les conserver dans leur état naturel, il suffit de les enduire d'huile d'olive ou de cire fondue, aussitôt ou du moins le même jour qu'ils sont pondus. Ainsi préparés, ils peuvent se garder pendant un an, sans perdre de leur qualité. C'est à Réaumur que l'on doit cette découverte.

2° On conserve les fruits en les enfermant par lits dans des caisses remplies de son, de menue paille ou de cendre. Il est bon aussi de recouvrir l'extrémité de leur queue avec de la cire ordinaire. Plusieurs se contentent de suspendre les fruits les plus précieux dans des enveloppes de papier.

Quant aux fruiteries, elles doivent être à une température moyenne de 10 degrés, exposées au *midi* ou au *levant*, à l'abri de l'humidité et des temps pluvieux, et éloignées de tout foyer de fermentation. Comme les fruits transpirent et vicient l'air, il faut le renouveler dans les temps secs.

3° On conserve de même dans le sable les racines bulbeuses ; mais il est indispensable d'en retrancher auparavant le germe, qui, venant à pousser dans les temps doux, absorberait en pure perte les parties les plus substantielles de la plante.

Applications aux arts et métiers.

Les opérations du chimiste sont presque toutes fondées sur la *porosité*. En effet, comment parviendrait-il à séparer les principes des corps, s'il n'y avait entre leurs parties matérielles des pores par lesquels les dissolvans puissent s'insinuer?

On sait que les corps les plus durs se dissolvent dans les acides : l'or, le platine même, cèdent à l'action de l'eau régale. Le verre, le cristal, le diamant, etc., se laissent pénétrer par la lumière. En incrustant dans l'agate différens dessins nuancés, on est parvenu à imiter les dendrites naturelles. Les marbres les plus durs, sous les mains du célèbre Dufay, ont reçu des couleurs étrangères et des dessins assez profondément empreints pour ne pas s'effacer par le poli.

Les filtres dont on se sert dans les opérations des arts et dans les expériences de chimie, ne sont autre chose que des corps dont les pores sont assez grands pour laisser passer les liquides, et asses petits pour arrêter tous les corps hétérogènes qu'ils tiennent en suspension; c'est pour cela que les liqueurs filtrées sont parfaitement limpides. Les filtres ordinaires sont le papier non collé et le charbon pilé.

La porosité des bois, surtout de ceux qui sont les plus tendres, fait qu'ils perdent ou acquièrent de l'humidité s'ils se trouvent dans des endroits plus ou moins secs qu'ils ne le sont eux-mêmes. C'est pourquoi il arrive souvent que les ouvrages de menuiserie, d'ébénisterie, de tonnellerie, se déjettent: une fenêtre qui se ferme aisément dans un temps, se trouve trop large dans un autre; les tiroirs d'un meuble glissent plus ou moins facilement; un tonneau entr'ouvert se raccommode étant plongé quelques heures dans l'eau, etc. Tous ces effets ne sont autre chose que des dimensions diminuées par la sécheresse, ou augmentées par l'humidité qui s'insinue dans les pores du bois.

On peut prévenir une grande partie de ces inconvéniens, si l'on enduit de part et d'autre les bois travaillés de peinture à l'huile ou de vernis. En bouchant ainsi les pores du bois d'une matière qui n'est point pénétrable à l'eau, on empêche l'humidité d'y entrer et même d'en sortir, et par ce moyen on leur conserve plus long-temps un état invariable.

La force expansive de l'humidité, en augmentant le volume des corps, produit quelquefois des effets surprenans. Ainsi on voit des câbles mouillés à dessein, se gonfler aux dépens de leur longueur et faire approcher du point où ils sont attachés, des masses prodigieuses; des coins de bois tendre, bien séchés au four, acquièrent, par l'humidité qui s'insinue dans leurs pores, une force expansive si grande qu'on s'en sert dans les carrières pour opérer la division des meules de moulin *.

---

* Les pierres employées à cet usage étant fort dures, dans les endroits où on n'a pas l'habitude de les scier, on en choisit un bloc que l'on place sur sa base, et après l'avoir taillé en forme de cylindre d'un diamètre convenable, on le divise par tranches, dont l'épaisseur est celle que doivent avoir les meules, en creusant des rainures circulaires et parallèles à la base, dans lesquelles on force des coins de bois tendre très-desséchés à entrer tout autour; enfin on verse de l'eau qui les pénètre pendant la nuit, et le lendemain les tranches se trouvent séparées.

LEÇON Ve.

SUITE DE LA POROSITÉ. DE LA COMPRESSIBILITÉ.

Dispositions des corps à n'admettre que certains liquides dans leurs pores. Avantages qu'on en retire pour les Arts. — Applications à la gravure sur cuivre et à la lithographie. — Encres de sympathie. — Ce que c'est que la compressibilité. — De la compression des tissus, des métaux, des pierres, des liquides et des gaz. — Applications aux procédés des Arts.

84. Il existe des corps qui reçoivent certains liquides dans leurs pores, tandis que d'autres ne peuvent s'y insinuer; et le même liquide pénètre dans les pores d'un corps, sans avoir la faculté de s'introduire dans ceux d'un autre. Par exemple, le marbre admet dans ses pores l'esprit de vin et les huiles, et non pas l'eau; les gommes se laissent pénétrer par l'eau, et non par l'esprit de vin; les résines par l'alcohol ou les huiles, et non par l'eau; l'acide nitreux s'insinue dans les pores de l'argent et le dissout, et n'altère pas l'or; l'acide nitro-muriatique (*eau régale*) s'introduit dans les pores de l'or, le dissout et n'attaque pas l'argent; l'acide nitreux dissout le cuivre, le fer, etc., sans pouvoir entamer les matières grasses ou onctueuses, comme le beurre, la cire. Tous ces contrastes produisent des effets utilement employés dans les arts, mais on n'en peut expliquer la véritable cause; ils ne résultent pas uniquement de la grandeur des pores et de la petitesse des molécules du dissolvant, puisque les particules de l'esprit de vin, plus déliées que celles de l'eau, ne s'insinuent pas dans les pores des gommes plus ouverts que ceux des résines dans lesquels elles pénètrent si aisément; ils dépendent aussi de la forme des pores et de la figure des parties solides du dissolvant, et probablement encore de la tendance que ces mêmes parties ont les unes pour les autres.

Cette propriété particulière en vertu de laquelle un corps peut ne point se laisser pénétrer par un autre, se nomme *imperméabilité*. Ainsi les marbres, les toiles cirées, sont *imperméables* à l'eau; les gommes le sont à l'alcohol, etc.

Application à la gravure en taille-douce.

On enduit une feuille de cuivre mince et bien polie d'une espèce de cire préparée et noircie à la fumée d'une bougie; on dessine ensuite, sur cette surface enduite, avec une pointe d'acier qui découvre le cuivre par autant de traits que le dessin en exige; on borde la planche d'un cordon de cire

molle, et après l'avoir posée horizontalement, on la couvre d'environ un centimètre d'acide nitrique affaibli d'eau commune au tiers ou à la moitié. En peu de temps le cuivre découvert par la pointe d'acier, cède à l'action du dissolvant, se creuse plus ou moins, selon les vues de l'artiste qui règle la durée de l'opération, pendant que la cire, qui ne se dissout point dans l'eau-forte, conserve intact le reste de la surface. C'est ainsi qu'une feuille de métal se trouve préparée pour reproduire 9000 ou 10000 fois la même estampe, en la faisant passer successivement par la presse avec autant de feuilles de papier entre deux cylindres qui les serrent ensemble assez fortement pour que l'encre, dont les traits du cuivre sont remplis, se décharge sur le papier.

Le marbre est imperméable à l'eau et à quantité d'autres liquides; mais il ne l'est pas à l'alcohol, à l'huile de térébenthine, à la cire fondue. Ces exceptions ont été saisies pour y introduire des dessins et des couleurs étrangères, et imiter, avec celui qui est blanc, les autres espèces qui sont naturellement colorées.

La Lithographie.

L'art du lithographe consiste à tracer sur la pierre un dessin quelconque pour le reproduire sur le papier, la toile, la soie et les différentes étoffes.

La pierre qu'on emploie se tire d'Allemagne : en l'usant à la pierre ponce ou au sable fin, elle devient aussi unie que le marbre, mais polie dans le premier cas et grenée dans le second. Après l'une ou l'autre de ces préparations, on dessine sur la pierre polie, avec l'encre liquide, au moyen d'une plume d'acier, ou sur la pierre grenée, avec un crayon noir, composé de matières grasses, suivant que le sujet donné est au trait ou ombré; on lave ensuite la pierre à l'aide d'une éponge humide, puis on fait glisser sur la partie dessinée un rouleau mobile garni de cuir légèrement enduit d'encre épaisse noire ou de toute autre couleur. Cette encre s'attache au dessin seulement, sans gâter le reste de la pierre, parce que l'eau n'a pas pénétré les traits du dessin qui sont gras, et que l'encre ne prend pas sur la pierre mouillée. Enfin, on met une feuille de papier blanc sur le dessin, on fait passer le tout sous une presse, et on en retire un dessin semblable à celui tracé sur la pierre. En répétant ce procédé, on peut ainsi obtenir jusqu'à 2 à 3000 dessins ombrés, et plus de 6000 si le sujet est seulement au trait, avant que le dessin ne s'efface de la pierre.

C'est à la Bavière que nous devons l'importante découverte de ce nouvel Art.

Encres de sympathie.

85. On a donné le nom d'*encres de sympathie* à deux liqueurs qui, invisibles isolément, s'aperçoivent partout où elles se trouvent en contact. Nous en parlons pour offrir à la fois un exemple très-frappant de la porosité et de la divisibilité de la matière, et pour prémunir contre les prestiges du charlatanisme.

EXPÉRIENCE.

Sur une feuille de papier blanc, on écrit ou l'on forme un dessin, en se servant d'une plume neuve, avec une liqueur claire et sans couleur, com-

posée de vinaigre distillé et de litharge *; on place le papier, qui ne porte aucune marque d'écriture, quand il est sec, dans les premiers feuillets d'un livre de 400 pages; on étend ensuite avec une éponge sur le dernier feuillet du livre une autre liqueur qui, sans être plus colorée que la première, est préparée avec l'orpiment, la chaux-vive et l'eau **; on tient le livre fermé pendant quelques minutes, et quand on en retire le papier, on voit, colorés d'un brun noir, tous les traits de l'écriture ou du dessin, sans rencontrer aucune marque semblable dans tout le reste du livre.

La seconde liqueur divisée en très-petites parties, a pénétré à travers les pores des feuillets du livre et s'est unie avec celle qu'on a étendue sur le papier blanc, et il s'y est fait un mélange des deux qui paraît sous la couleur qu'elles doivent faire naître chaque fois qu'elles se joignent ensemble. Ce qui prouve la grande porosité du papier en même temps que l'extrême divisibilité des liqueurs employées.

De la Compressibilité.

86. La *compressibilité* des corps est la propriété qu'ils ont de diminuer de volume par l'effet d'une force étrangère suffisante, qu'on nomme *compression.*

87. Comme tous les corps sont poreux, on conçoit qu'il est possible de faire rapprocher plus ou moins les unes des autres toutes les parties constituantes d'un corps quelconque, et conséquemment diminuer son volume primitif sans ôter une seule de ses molécules.

On peut donc conclure que la *compressibilité* est une propriété générale des corps, mais qu'elle n'appartient pas également à tous. Aussi est-elle très-grande dans les uns, très-faible et presque insensible dans les autres.

1° *Compression des tissus.*

88. On sait que les tissus fort poreux sont en même temps très-compressibles: l'éponge se réduit au $\frac{1}{3}$, au $\frac{1}{4}$, et jusqu'au $\frac{1}{10}$ de son volume apparent. Le papier, les étoffes, le bois et tous les tissus qui se laissent pénétrer par les fluides, peuvent pareillement diminuer de volume, et perdre par la compression les fluides qu'ils contiennent.

---

* On met avec la litharge, cinq fois son poids de vinaigre, dans un matras que l'on fait digérer au bain de sable 7 à 8 heures; on filtre ensuite au papier la dissolution pour la conserver dans une fiole.

** Pour cette liqueur, on prend environ 30 grammes d'orpiment en poudre, le double de chaux-vive et un demi-litre d'eau commune; on place le tout dans un vase de verre à une chaleur douce l'espace de 7 à 8 heures; on filtre la liqueur ou on la laisse clarifier d'elle-même par le repos pour la décanter après et l'enfermer dans une bouteille.

Applications aux procédés des Arts.

Dans les arts, la compression exercée sur les substances végétales produit les liqueurs, les huiles, les essences, etc.

Ainsi, le raisin renfermé dans une cuve et ensuite comprimé donne *le vin de gouttes*, et le marc porté sous un pressoir pour être soumis à une compression plus considérable en produit encore, mais d'une espèce plus dure appelée *vin de pressoir;* le cidre, le poiré, s'obtiennent en comprimant les fruits qui les renferment.

Les huiles, dites *à froid*, proviennent de graines d'abord broyées sous une meule et ensuite soumises à l'action d'une pression très-forte.

Et les essences se retirent des sucs des plantes végétales par l'effet de la compression.

2° *Compression des métaux.*

89. Si l'on donne un fort coup de marteau sur une masse d'or, d'argent, d'étain ou de plomb, le choc du marteau y laisse une marque très-apparente, qui prouve incontestablement que les parties ont été refoulées dans l'endroit du choc.

Applications aux Arts.

Les métaux sont *écrouis* par la percussion, ils deviennent plus compacts, leurs parties se refoulent les unes sur les autres et forment une masse plus serrée.

Les monnaies et les médailles reçoivent leurs empreintes sous l'action d'un balancier qui les frappe d'un seul coup; cette pression est si considérable, qu'elle façonne le métal comme la pression de la main peut façonner la cire; et non-seulement ils changent de forme, pour se mouler sur les traits les plus déliés de l'effigie que porte le coin, mais encore ils se compriment de telle sorte, que la pièce frappée a sensiblement moins de volume que celle qui ne l'est pas.

C'est aussi par la percussion ou la compression qu'on parvient à donner toutes ces figures variées aux feuilles métalliques qui recouvrent la plupart des ouvrages de l'orfèvre, du fondeur, du boutonnier, du ferblantier, etc., et qui ornent nos appartemens ou servent à nos usages.

Les reliefs qu'on voit sur les ouvrages de carton, de bois et de pâte quelconque, s'obtiennent également par la compression.

3° *Compressibilité des pierres.*

90. Les pierres, quand elles sont chargées d'un grand poids, se laissent comprimer jusqu'à un certain point.

Les murs, servant de base aux édifices, et les colonnes qui en soutiennent la charge en donnent constamment des preuves évidentes.

On peut citer pour exemple l'affaissement survenu aux piliers qui supportent la coupole du Panthéon (autrefois l'église Sainte-Geneviève), à Paris.

4° *Compressibilité des liquides.*

91. Les liquides sont en général beaucoup moins compressibles que les solides : l'eau ne diminue que très-peu de volume, quand on l'enferme dans une pièce de canon dont les parois ont plus de 3 pouces d'épaisseur, et qu'on la comprime par les plus fortes puissances. Le métal éclate avant qu'elle soit réduite aux $\frac{19}{20}$ de son volume.

92. Une autre expérience, faite par les académiciens de Florence, qui prouve également la compressibilité des liquides, consiste à sceller hermétiquement, après l'avoir remplie d'eau ou d'autre liqueur, une boule d'or très-mince et bien sphérique, puis à la soumettre, au moyen d'une presse, à une compression assez forte pour l'aplatir un peu. L'aplatissement qu'on obtient ayant diminué le volume de la boule *, rend conséquemment aussi plus petit celui de l'eau qu'elle renferme.

Il est avantageux pour nous que les liqueurs puissent résister à des pressions qui compriment fortement les autres corps. Le cidre, le vin, les huiles, etc., que nous tirons par expression des végétaux, ne se sépareraient point des parties solides qui les contiennent, si ces liqueurs étaient aussi compressibles qu'elles. La facilité que nous avons à extraire les sucs que la nature y a préparés pour nos usages, est presque toute fondée sur la résistance que les liqueurs opposent aux forces qui tendent à les comprimer.

5° *De la compressibilité des fluides aériformes.*

93. L'air et tous les gaz sont en général les corps qui se compriment le plus facilement, et ceux qui se réduisent à un moindre volume. On peut le démontrer par un grand nombre d'expériences ; mais l'une des plus simples est celle du briquet à air. Cet appareil se compose d'un tube de verre de 20 à 30 centimètres (8 à 10 pouces) de longueur, à parois très-épaisses (fig. 9), dont l'intérieur parfaitement cylindrique reçoit un piston qui le ferme exactement dans toutes les positions qu'il peut prendre. On enfonce le piston avec la main, et cette force est suffisante pour réduire l'air renfermé dans le cylindre à la dixième et même à la vingtième partie de son volume (fig. 10). La résistance augmente à mesure que le piston descend davantage, et quelque effort que l'on puisse faire pour le pousser jusqu'au fond, on n'y parviendra jamais ; car il faudrait pour cela que l'air perdît son impénétrabilité ou qu'il fût anéanti.

* Il est mathématiquement démontré qu'une capacité sphérique est plus grande que toute autre capacité d'une surface égale à la sienne.

Quand le piston reprend sa position, l'air aussi revient à son volume primitif; il n'est donc pas compressible à la manière des métaux qui reçoivent des empreintes et qui les conservent après que le balancier cesse de les presser.

94. Tous les gaz ont la même propriété que l'air; ils ne sont pas seulement propres à être comprimés, mais, en vertu de leur force expansive, ils sont susceptibles d'occuper un volume beaucoup plus grand.

Si au-dessus du briquet à air on ajoutait un tube de même diamètre, et qu'au lieu d'enfoncer le piston on le soulevât dans ce nouveau tube (fig. 11), l'air intérieur se répandrait partout, et prendrait un volume dix fois, cent fois, mille fois, etc., plus grand; et même il ne paraît pas qu'il y ait de limite à cette expansion des gaz.

LEÇON VIe.

DE L'ÉLASTICITÉ.

Comment se caractérise cette propriété. Expériences qui démontrent l'élasticité des fluides et celle des corps solides. — Applications aux arts. — Moyens d'augmenter l'élasticité de certains métaux. — Du phénomène de l'écrasement des différens corps solides. — Quelques applications utiles.

95. L'*élasticité* est la propriété en vertu de laquelle les corps reprennent, en tout ou en partie, leur forme primitive après la compression.

96. Un corps *élastique* est donc celui qui, ayant changé de forme par l'action d'une force quelconque, y revient quand celle-ci cesse d'agir.

Tel est un ressort en spirale dont on diminue l'étendue en le pressant, et qui reprend toute son extension dès qu'on le laisse libre; telle est encore une lame d'acier que l'on courbe et qui se redresse aussitôt qu'on l'abandonne à elle-même.

97. L'élasticité se manifeste principalement par l'effet que produit sur les corps l'action momentanée de la pression, du choc, de la flexion, de la torsion et de la traction. Cet effet occasionne toujours dans les molécules des corps un dérangement qui peut être pris pour la mesure de leur élasticité. Ainsi, un corps est d'autant plus élastique que ce dérangement dans ses molécules est plus étendu : l'élasticité d'une boule d'ivoire, par exemple, l'emporte sur celle d'une boule de plomb, parce qu'elle revient d'un

choc plus grand. De même, les lames d'acier sont plus élastiques que celles de bois, car elles peuvent être plus fléchies; les fils de soie plus que ceux de cuivre ou d'argent, puisqu'ils peuvent être tordus bien davantage; et les cordes de violon plus que les fils de fer, car elles peuvent être beaucoup plus étirées sans cesser de revenir à leur première longueur.

EXPÉRIENCES SUR LES FLUIDES.

98. L'air est parfaitement élastique : si l'on comprime une vessie qui en soit à moitié pleine, elle reprend toujours son état dès qu'on finit de la presser. Pareillement, quand on a enfoncé le piston d'un briquet à air, il remonte aussitôt qu'on l'abandonne; l'air comprimé le soulève malgré le frottement, et le ramène vers le point de départ.

Cet effet est le même à l'égard de tous les gaz sur lesquels on fait agir une cause quelconque; supprimez la cause, ils reviennent exactement comme ils étaient auparavant. C'est pourquoi on a donné aux *gaz* le nom de *fluides élastiques*.

99. Les liquides qui ont été comprimés paraissent ne rien conserver non plus des pressions qu'ils ont supportées; ils reprennent leur volume à l'instant même où cesse la compression.

Élasticité des corps solides.

100. Les corps solides ne sont pas aussi élastiques que les gaz et les liquides. Le caoutchouc qui paraît avoir le plus d'élasticité, change de forme, soit par la chaleur, soit par de grandes pressions long-temps prolongées ou souvent répétées.

EXPÉRIENCES SUR LES BILLES DE BILLARD.

101. L'élasticité de l'ivoire est assez indiquée par les mouvemens singuliers des billes de billard; mais on peut la démontrer plus directement par l'expérience suivante.

On laisse tomber une bille ordinaire, ou pas plus grosse qu'une balle, sur une tablette de marbre noir très-unie et enduite d'une légère couche d'huile; à l'instant elle se relève et rebondit jusqu'à la hauteur du point de départ ou à fort peu près : c'est là, sans doute, une preuve suffisante de son élasticité. Mais, si l'on regarde obliquement la tablette au point où la bille l'a frappée, on y voit une tache ronde d'autant plus grande que le choc a été plus vif, et qui démontre évidemment que la bille ne s'est relevée qu'après s'être aplatie, comme ferait une petite vessie pleine d'air. Elle a repris sa forme après le choc, puisqu'en l'examinant avec soin, on n'y trouve aucune trace de cet aplatissement.

Ici, comme dans la compression, tant que le rapprochement des molécules, résultant du choc, est au-dessous d'une certaine limite qui varie pour les différens corps, elles reprennent après leurs premières places, et alors le corps est parfaitement élastique; mais passé cette limite, l'élasticité est forcée, et les molécules ne reviennent pas à leurs positions primitives, soit que le corps se déforme, soit qu'il se brise.

102. Des balles de bois, de pierre, de verre, de métal, produisent à peu près le même résultat que les billes d'ivoire : toutes s'aplatissent plus ou moins avant de se relever, ce qui montre leur compressibilité; et toutes, quand elles n'ont point été comprimées trop vivement, rebondissent et reprennent leur première forme, ce qui prouve leur élasticité.

Dans ces expériences, la plus petite hauteur d'où il faut laisser tomber chaque balle pour que sa surface soit aplatie d'une quantité sensible, varie avec la substance dont elle est composée. Cette hauteur pouvant donner une mesure de l'élasticité des corps, si l'on répète ces épreuves, on reconnaît que l'élasticité, qui est la plus grande possible dans une balle de *caoutchouc* ou gomme élastique, décroît successivement dans l'acier, le verre, l'ivoire, les métaux mous, et les corps mous, comme le suif, où elle se trouve tout-à-fait insensible.

Une feuille de papier, même une feuille de plomb, ne sont pas sans élasticité; car on peut leur donner de légères flexions, sans qu'elles se rompent et sans qu'elles cessent de reprendre leur position; mais si on les écarte un peu trop, leur élasticité est forcée, elles prennent le nouveau pli, et ne font plus d'effort pour en revenir. Il en est ainsi d'un arc que l'on bande trop fortement ou trop longtemps.

103. La cause de l'élasticité n'est point encore connue; toutes les explications qu'on en a données jusqu'alors sont peu satisfaisantes : en admettant même la matière subtile, dont l'existence n'est rien moins que prouvée, elle n'expliquerait encore rien, puisqu'il resterait à démontrer pourquoi elle est élastique.

Applications aux arts.

C'est à l'élasticité qu'on doit une grande partie des services que nous rend le fer converti en acier et travaillé par les arts. C'est d'elle qu'empruntent leur force les ressorts en spirale qui animent les montres et les autres machines destinées à nous donner la mesure du temps. Mais ici, comme la force du ressort diminue continuellement lorsqu'il se détend, on la fait

agir sur une roue * dont le diamètre augmente à mesure que la force diminue; en sorte que le bras du levier augmentant, la force, quoique moindre, produit toujours le même effet, qui est de faire marcher toutes les autres roues dans un mouvement uniforme.

Toute la mécanique est pleine d'applications également intéressantes et ingénieuses de la force de ressort; c'est à elle qu'obéissent les pièces qui déterminent en un clin d'œil l'explosion des armes à feu portatives, les lames flexibles qui amollissent le mouvement des voitures et les rendent d'un usage si commode, et les cordes des différens instrumens, dont les vibrations, combinées avec celles de l'air, diversifient si agréablement les plaisirs de l'oreille.

Dans le commerce, c'est aussi par leur élasticité, leur ressort, que la paille, le foin, les découpures de papier ou de bois tendre, prémunissent les marchandises emballées contre l'effet nuisible des secousses.

Moyens d'augmenter l'élasticité de certains corps.

Il y a des corps dans lesquels on peut augmenter l'élasticité par plusieurs moyens employés dans les arts. Ces moyens sont l'*alliage*, l'*écroui* et la *trempe*.

1° Les corps sonores devant avoir un ressort très-actif, on augmente l'élasticité des métaux dont on fait les cloches, les timbres, etc., en les mêlant et les faisant fondre avec d'autres métaux ou demi-métaux, ce qu'on appelle *alliage;* parce qu'on a remarqué qu'un pareil mélange est plus dur, plus raide et plus élastique que les métaux simples dont il est composé.

2° La plupart des métaux, même sans être alliés, acquièrent une grande élasticité, prennent un ressort plus actif, lorsqu'on les bat à froid; ce qu'on appelle *écrouir*. On augmente donc l'élasticité des métaux par l'*écroui*.

Pour en avoir la preuve, prenez dans la même feuille de cuivre deux lames de ce métal d'égales dimensions; battez l'une des deux à froid sur une enclume, ensuite essayez de les courber. Celle des deux qui aura été écrouie, reprendra, à très-peu près, son premier état, et l'autre gardera presqu'en entier la courbure que vous lui aurez donnée.

3° De tous les corps dont on augmente artificiellement l'élasticité, il n'en est point sur lequel on produise un plus grand effet que sur l'acier: et parmi les divers procédés qu'on emploie pour cela sur ce métal, le plus efficace est la *trempe*, qui consiste à chauffer fortement l'acier et à

---

* Cette roue n'est autre chose que la fusée sur laquelle est enroulée la chaîne tirée par le ressort, et à laquelle on donne la forme d'un cône tronqué. Ce cône est composé de *spires* qui deviennent de plus en plus grandes à mesure que la force du ressort diminue; ce qui compense cette force et produit un mouvement régulier qui serait retardé relativement au mouvement dont l'existence doit être uniforme.

le refroidir subitement en le plongeant dans une liqueur froide. L'acier prend par là une dureté et une élasticité qui augmentent suivant qu'on le chauffe davantage et que la liqueur dans laquelle on le plonge est plus froide.

Quand la *trempe* a produit un plus grand effet que celui dont on a besoin, on peut le modérer et diminuer cette élasticité par le *recuit*, c'est-à-dire, en chauffant modérément l'acier et en le laissant ensuite refroidir lentement à l'air.

Il faut savoir, dans les arts, que l'acier n'est point un métal particulier, c'est un fer préparé par la *cémentation*. Chaque ouvrier a son *cément* particulier dont il fait souvent un secret; mais dans tous il entre des matières carboneuses. Autrefois la plupart des chimistes regardaient l'acier comme un fer plus pur que celui dont il avait été formé; ils étaient dans l'erreur. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'acier est un fer combiné avec le carbone ou principe carboneux, qui s'est uni au fer pendant la cémentation, et qui y est intimement mêlé. Aussi à la cassure du fer pur, on voit qu'il est composé de lames; et la cassure de l'acier montre de petits grains qui sont le produit du mélange du fer extrêmement divisé et du carbone. Lorsqu'on chauffe l'acier, l'action du feu * fait sortir de l'intérieur de ses molécules une grande partie du principe carboneux qui s'y trouve disséminé, sans pour cela le faire sortir de la masse totale. La trempe saisit donc l'acier dans un moment où ses principes, quoique les mêmes, sont moins mêlés; ce qui fait que les molécules sont composées de parties plus homogènes, et qu'en même temps ces molécules sont moins liées ensemble.

Cela suffit pour expliquer convenablement les phénomènes qui résultent de la trempe, et que l'on observe en métallurgie.

Du phénomène de l'écrasement.

Lorsqu'un corps solide *ab* (fig. 12), de forme cylindrique et placé verticalement, se trouve chargé à sa partie supérieure *a* de poids de plus en plus grands, on observe qu'il se comprime successivement et qu'en même temps son diamètre augmente, ou en d'autres termes que ses atomes se rapprochent dans le sens vertical et s'écartent dans le sens horizontal.

Tant que la charge totale est au-dessous d'une certaine limite qui varie pour les différens corps, ce déplacement est assez petit pour que les atomes reviennent à leur situation primitive quand on supprime la charge; et le corps jouit, comme les fluides élastiques et les liquides, d'une élasticité parfaite. Mais lorsque la charge excède la limite dont nous venons de parler, le changement de position des atomes devient tel que leur élasticité est forcée, c'est-à-dire que si on les abandonne alors à eux-mêmes, ils ne reviennent plus tout-à-fait à leur situation primitive, mais s'en rapprochent seulement d'une certaine quantité. Enfin si la charge est encore augmentée, l'écrasement horizontal des atomes devient tel, que le corps se courbe, se brise, se sépare, ou se réduit en poussière.

* La propriété bien connue du feu est de procurer l'union des matières homogènes.

Dans le mécanisme particulier de l'écrasement, on a reconnu :

1° Que les pierres tendres se divisent d'abord en pyramides qui ont pour bases les faces du solide, et dont le sommet est au centre; les pyramides verticales écrasent les autres en agissant comme des coins, elles se partagent toutes en petits prismes verticaux et finissent par tomber en poussière.

2° Que les pierres dures, dont le grain est fin, l'agrégation homogène et compacte, se divisent avec bruit en lames ou en aiguilles verticales, puis se réduisent en poussière.

Le même phénomène observé dans les bois et les métaux, employés comme supports dans la construction des édifices ou maisons, ont appris :

1° Que le bois se brise en éclatant;

2° Que les métaux peuvent se réduire en poussière impalpable, mais qu'il faut pour cela les soumettre à des pressions énormes.

Les résultats des principales expériences faites sur la charge que les différens corps solides peuvent supporter à l'instant qu'ils s'écrassent, sont compris dans un tableau très-utile, qui se trouve dans un ouvrage de physique et de chimie, à l'usage des cours publics industriels de Metz. Nous rapporterons seulement la table des moyennes de plusieurs de ces résultats en nombres entiers, parce qu'elle pourra servir aux personnes qui s'occupent de constructions.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POIDS qui produit l'écrasem.t d'un cube de 1 centimèt. de côté.	DÉSIGNATION DES CORPS.	POIDS qui produit l'écrasem.t d'un cube de 1 centimèt. de côté.
	kilogram.		kilogram.
Basalte	2000.	Mortier ord.re de 18 mois	25.
Granit dur	700.	Chêne de France	400.
Granit ordinaire	400.	Chêne anglais	250.
Marbres les plus durs	1000.	Sapin français	500.
Pierre calcaire ordinaire	500.	Sapin blanc anglais	130.
Marbres blancs veinés et statuaires	300.	Pin d'Amérique	110.
		Orme	90.
Grès le plus dur	900.	Fer forgé	5000.
Grès tendre	4.	Fer fondu	10000.
Brique très-dure	150.	Métal de canon	25000.
Brique ordinaire	40.	Cuivre rouge coulé	8000.
Plâtre	60.	Cuivre rouge forgé	28000.
Mortier de 18 mois, fait avec précaution et de bons matériaux	40.	Cuivre jaune	2800.
		Étain fondu	600.
		Plomb fondu	140.

Usage de cette Table.

Au moyen de cette table, on peut calculer la force nécessaire pour écraser un bloc *cubique* gros ou petit de l'une quelconque des matières

qui y sont mentionnées, en observant que cette force est égale à autant de fois celle qu'on trouve dans la table, que la base du bloc donné renferme de centimètres quarrés.

Application à des blocs non cubiques.

Lorsque le bloc n'est pas cubique, on peut encore appliquer la règle précédente, mais les résultats qu'elle fournit sont trop forts; et ils le sont d'autant plus que le contour de la base du bloc est plus grand par rapport à sa surface.

Lorsque la hauteur des pièces, quoique trop petite pour qu'il y ait flexion, est cependant plus grande que celle qu'auraient ces pièces si elles étaient cubiques, la force qui produit l'écrasement est inférieure à celle qu'on obtient de la règle ci-dessus. Alors, en supposant qu'on ait donné la forme des prismes droits à quatre pans aux corps soumis à l'expérience, la charge qui produirait leur écrasement, peut se déduire, comme il suit, de celle qui la cause quand la pierre est cubique.

1° Pour les bois, on prend les $\frac{5}{6}$ si la longueur de la pièce est égale à 12 fois l'épaisseur, et la $\frac{1}{2}$ si la longueur vaut 24 fois l'épaisseur.

2° Pour le fer forgé, on prend les $\frac{5}{8}$ ou la $\frac{1}{2}$ dans les deux mêmes circonstances que pour les bois.

3° Pour le fer fondu, on prend les $\frac{3}{4}$ quand la longueur équivaut à 4 fois l'épaisseur, la $\frac{1}{2}$ ou le $\frac{1}{15}$ si la longueur égale 8 fois ou 36 fois l'épaisseur.

Charge que peuvent supporter les corps dans les constructions.

Lorsqu'on emploie les corps comme matériaux dans les constructions, il est évident que la charge à supporter par chacun, doit être moindre que celle qui en produirait l'écrasement; bien plus, si l'on considère que l'effort supporté par les matériaux varie sans cesse, même dans les ouvrages les mieux faits, et que par conséquent leurs atomes sont soumis à des mouvemens presque continuels, on sentira que pour assurer la durée de ces matériaux, il serait nécessaire que sous ces divers efforts leur élasticité ne fût jamais forcée. Dans l'ignorance où nous sommes de la charge en deçà de laquelle chaque corps conserve une élasticité parfaite, on est réduit à adopter les opinions qu'une longue expérience a suggérées aux personnes qui s'occupent de l'art de bâtir; et l'on admet que dans les constructions même hardies, la charge des divers matériaux ne doit point excéder pour les pierres le $\frac{1}{10}$, pour les bois le $\frac{1}{5}$, pour le fer fondu ou forgé le $\frac{1}{4}$ de la charge qui produirait l'écrasement de chacune des pièces employées.

On a aussi remarqué qu'un corps d'un seul morceau résiste plus efficacement qu'un pareil corps composé de plusieurs parties; d'où il résulte qu'un bâtiment est d'autant plus solide que les pierres qu'on emploie à sa construction sont plus grosses. C'est là probablement une des causes de la longue durée des édifices des Romains, car tous ceux qui nous en restent se trouvent composés de très-grosses pierres.

LEÇON VIIe.

SUITE DE L'ÉLASTICITÉ. DURETÉ, FRAGILITÉ, DUCTILITÉ ET FLEXIBILITÉ DES CORPS.

De la Ténacité. — Tableau indiquant la charge qui détermine la rupture des corps solides soumis à l'action de la traction. — Phénomène de la Flexion. — Dureté des corps. Sa mesure. — Ce qu'on entend par Fragilité. — De la Ductilité. Son utilité dans les arts. — Caractère de la Flexibilité. Usage qu'on en fait dans les arts et métiers. — Note sur la Malléabilité.

De la Ténacité.

104. La *ténacité* des corps est la résistance qu'ils opposent à la rupture de leurs parties par l'effet de la *traction*.

105. Les corps solides travaillés en fils, en tiges ou en barres, éprouvent divers phénomènes lorsqu'ils sont tirés dans le sens de leur axe par des forces successivement croissantes : 1° leur longueur augmente et leur diamètre diminue ; 2° ils reviennent exactement à leurs dimensions primitives quand les forces tractives viennent à cesser sans avoir dépassé certaines limites ; 3° au-delà de ces limites, ils restent allongés dans un sens et rétrécis dans l'autre ; 4° pour des forces plus grandes encore, ils se rompent, tantôt brusquement dans toute leur largeur, tantôt lentement en s'amincissant de plus en plus.

Voici un tableau qui présente en *kilogrammes* le poids qui produit la rupture de diverses substances soumises à l'expérience.

SUBSTANCES.	POIDS qui produit la rupture sur une section d'un centimètre quarré.	SUBSTANCES.	POIDS qui produit la rupture sur une section d'un centimètre quarré.
	kilogram.		kilogram.
Pierre calcaire ordinaire.	60.	Fer fondu........	1000.
Pierre blanche.....	20.	Acier, le meilleur....	9000.
Brique très-dure.....	20.	Acier, le plus mauvais..	2000.
Mortier de 18 mois, bon.	9.	Métal de canon......	2500.
Mortier ordinaire.....	3.	Cuivre jaune.......	1200.
Chêne de France.....	980.	Cuivre rouge coulé....	1300.
Chêne anglais.......	700.	Cuivre rouge forgé....	2400.
Sapin anglais.......	800.	Etain fondu........	300.
Fer forgé, très-bon....	8000.	Plomb fondu.......	120.
Fer forgé, mauvais....	1800.	Corde en chanvre.....	500.

A l'aide de ce tableau on peut calculer quelle est la force nécessaire pour

rompre par la traction un corps cylindrique ou prismatique de dimensions quelconques, en observant, 1° que la longueur du corps ne paraît pas avoir d'influence sur cette force; 2° qu'elle est égale à autant de fois le nombre donné par la table, que la section du corps par un plan perpendiculaire à sa longueur, contient de *centimètres quarrés*.

La traction qu'on peut faire éprouver aux corps solides employés comme matériaux dans les constructions n'a point encore été déterminée par l'expérience, mais une longue pratique a appris que *la charge des différens matériaux ne doit point excéder pour les bois le $\frac{1}{8}$, pour le fer forgé ou fondu le $\frac{1}{6}$ si elle est permanente, ou le $\frac{1}{4}$ si elle est composée d'une partie permanente et d'une partie accidentelle, de celle qui produirait la rupture.*

Du phénomène de la flexion.

106. Lorsqu'on fléchit un corps dans les limites de son élasticité, il reprend exactement sa forme dès que la cause a cessé. Pendant la *flexion*, il éprouve à la fois une *traction* et une *compression*; car toutes les fibres ou tous les filets que l'on peut alors concevoir sur la surface convexe sont évidemment allongés, tandis qu'ils sont, sur la surface concave, raccourcis ou comprimés, et il faut nécessairement qu'il s'en trouve entre ces deux positions qui n'éprouvent ni allongement ni contraction. C'est ce que l'on voit (fig. 13) sur le cylindre AB, *encastré* par son extrémité A, et tiré par un poids à son extrémité B. Les filets *ab* sont allongés, les filets *a'b'* sont accourcis, et les filets qui conservent leur longueur forment une certaine surface, telle que *pqrs*. C'est donc en vertu de la double élasticité de tension et de compression que le cylindre AB se redresse quand on supprime le poids P.

107. Ce qu'on vient de dire s'étend à un corps prismatique quelconque, ou *encastré* ou posé horizontalement sur *deux appuis*. Mais il est utile de remarquer ici que la manière dont le corps est fixé à ses extrémités, a une très-grande influence sur sa faculté de résister à la pression qui agit perpendiculairement sur lui. Cette influence est telle, qu'une poutre solidement encastrée par ses deux extrémités dans les murailles sur lesquelles elle repose, supporte sans se rompre un poids deux fois plus grand que si elle était simplement posée sur des points d'appui.

On a fait de nombreuses expériences sur la rupture des corps par la flexion, dont les résultats sont rassemblés en plusieurs tableaux utiles qui se trouvent dans la physique industrielle à l'usage des cours publics de Metz, et auxquels j'engage à recourir ceux qui s'occupent de constructions ou de l'art de bâtir.

De l'élasticité de torsion.

108. La facilité avec laquelle les fils fins métalliques peuvent être tordus et la régularité parfaite qu'ils mettent à revenir sur eux-mêmes pour reprendre leur position primitive, constituent ce qu'on nomme l'*élasticité de torsion* des corps.

109. Tant que la *torsion* n'excède pas certaines limites, variables dans les différens corps, l'élasticité existe; lorsqu'elle les dépasse, l'élasticité est forcée, et les molécules ne reviennent plus d'elles-mêmes à leur première position; enfin, si la torsion augmente toujours, il arrive bientôt que les atomes se séparent et le corps se rompt, éclate ou se déchire.

Des expériences ont fait trouver la force de torsion nécessaire pour produire la rupture de différens corps solides. Les élèves qui seront curieux d'en voir les résultats les trouveront dans l'ouvrage de physique industrielle que nous avons déjà cité plusieurs fois.

Loi de la force élastique des corps.

110. Lorsque les atomes d'un corps sont dérangés entre eux dans leur distance respective et naturelle par une cause quelconque, soit qu'on agisse sur eux par compression, traction, flexion ou torsion, la force avec laquelle ils tendent à revenir à la position qu'ils avaient d'abord et qu'on appelle *force élastique du corps*, est toujours égale et opposée à la force extérieure qui produit leur déplacement. Cette loi peut donc s'énoncer ainsi :

Tant que l'élasticité des corps n'est pas forcée, leur force élastique varie proportionnellement aux déplacemens de leurs atomes.

Remarque. Quoique cette loi entre les forces élastiques et les changemens de distances des molécules soit admise généralement, il ne faut cependant pas la regarder comme rigoureusement exacte, attendu qu'elle n'est qu'hypothétique, étant déduite d'un petit nombre d'expériences faites sur peu de corps différens.

De la Dureté.

111. La *dureté* est la résistance qu'opposent les corps solides à être usés ou rayés par un instrument tranchant, comme une scie, une lime.

112. Il ne faut pas confondre cette propriété avec celle que possèdent à un haut degré plusieurs d'entre eux, de résister à un choc, et qui est opposée à la fragilité, car un corps peut être à la fois *dur*

et *fragile;* c'est ce qu'on observe dans le verre et même dans le diamant, le plus dur des corps connus.

Le diamant, il est vrai, se brise facilement sous le marteau, mais ce n'est qu'avec sa propre poussière qu'on parvient à l'user, le tailler et le polir.

113. On voit par là que le frottement plutôt que la percussion doit être pris, en quelque sorte, pour la mesure de la dureté des corps, parce que la résistance que ceux-ci opposent à la première de ces forces, n'annonce pas toujours celle qu'ils peuvent opposer à la seconde.

114. Cette faculté qu'ont certains corps de se prêter plus ou moins à l'effet de la percussion pour se briser, a reçu le nom de *fragilité*. On doit donc distinguer les corps *fragiles* des corps *tendres*, qui sont en opposition avec les corps *durs*.

On ne connaît point de corps dont la fragilité contraste plus fortement avec sa dureté qu'une pierre verdâtre et transparente, appelée *euclase*, qui nous vient du Pérou. Après avoir cédé difficilement aux efforts que l'on fait pour l'user, on la voit se séparer en éclats par l'effet d'une assez faible pression.

De la Ductilité.

115. Par *ductilité* on entend cette facilité dont jouissent les corps peu élastiques et particulièrement certains métaux, de s'aplatir par la pression ou par la percussion, de manière à conserver la figure qu'ils ont prise en vertu de l'une de ces deux forces. Les molécules, dans ce cas, glissent les unes sur les autres, en sorte que les points de contact, quoique déplacés, restent toujours à des distances assez petites pour que l'adhérence continue d'avoir lieu.

116. Si l'on compare la ductilité des six métaux les plus connus, on trouve, en commençant par celui qui possède le plus cette propriété, qu'ils doivent être placés dans l'ordre suivant : *or*, *argent*, *cuivre*, *fer*, *étain* et *plomb*.

117. Il y a des corps qui sont ductiles *à chaud* et *à froid:* de ce nombre sont encore les métaux; quelques-uns, tels que le verre *, acquièrent de la ductilité par la chaleur; d'autres enfin, tels que l'argile, deviennent ductiles par l'interposition d'un liquide entre leurs molécules.

* C'est cette propriété du verre qui donne le moyen de le façonner dans les arts de tant de manières différentes pour le rendre propre à nos usages.

Cas où la ductilité est utile ou nuisible dans les arts.

La ductilité si précieuse dans les métaux quand il s'agit de les étendre et de les appliquer sur la surface des corps, ce qui a lieu surtout par rapport à l'or le plus ductile de tous, devient, au contraire, une qualité nuisible lorsqu'on les emploie en masse; et les ouvrages faits avec ces métaux, façonnés dans leur état naturel, n'auraient pas assez de consistance, et seraient sujets à se déformer et à perdre le fini que la main de l'art leur a donné. On y remédie en alliant avec le métal qu'on emploie, un autre métal dont les molécules interposées entre les siennes, en diminuent le jeu, et les lient plus fortement les unes aux autres. Au moyen de ces alliages, les arts parviennent à rendre les métaux plus durs ou plus sonores; ils en modifient à leur gré les propriétés, et les transforment en d'autres métaux intermédiaires, dont la diversité est assortie à nos usages.

On dit d'un corps qu'il est *mou*, quand ses parties cèdent facilement à la pression, en conservant néanmoins une certaine adhérence entre elles. L'effet de cette pression persiste dans plusieurs corps, sans être suivi d'un retour vers la forme qu'ils avaient primitivement, et alors on peut considérer la mollesse comme n'étant qu'un haut degré de ductilité : c'est le cas de l'argile humecté d'eau. Mais le terme de *mollesse* a une plus grande extension que celui de *ductilité*, en ce qu'il y a des corps mous qui sont en même temps élastiques. Tel est le *caoutchouc*, qu'on a nommé aussi, pour cette raison, *gomme élastique*.

De la Flexibilité.

118. La *flexibilité* se manifeste dans les corps qui la possèdent par la facilité qu'ils ont de se laisser ployer, courber, rouler, jusqu'à certaines limites, sans se rompre.

119. On peut citer comme substances éminemment *flexibles* la soie, la laine, le lin, le chanvre, le coton et les différentes étoffes composées avec ces substances.

120. Il est souvent nécessaire, pour juger de la flexibilité d'un corps, que sa longueur soit très-considérable relativement à son épaisseur. Le verre en offre un exemple remarquable : on ne peut le courber sensiblement dans l'état ordinaire; mais quand on en prend des baguettes très-longues et peu larges, on les fléchit si facilement qu'on peut faire joindre leurs extrémités, et même les rouler en spirales.

Les fils de fer, d'acier, de laiton, peuvent également se courber; mais si l'on voulait fléchir semblablement une barre de fer, d'acier ou de cuivre, on la briserait.

Applications aux arts et métiers.

La flexibilité des corps est souvent mise à profit dans les arts et métiers; c'est à cette propriété de toutes les substances filamenteuses et des fils

métalliques, que nous devons les ouvrages du tapissier, du fleuriste, de la lingère, du brodeur, du fabricant de galons, du tailleur, etc., qui servent à nos usages et qui embellissent nos appartemens.

Les charmantes aigrettes ondoyantes qui ornent souvent la tête ou les chapeaux de nos dames, sous le nom d'*esprit*, sont dues aussi à la grande flexibilité du verre tiré en fils très-minces, qui se courbent dans cette parure par leur propre poids.

REMARQUE. Quoique la dureté, la fragilité, la ductilité et la flexibilité ne soient pas des propriétés communes à tous les corps, nous les avons rapportées ici à cause de leur grande utilité dans les arts.

On peut y ajouter encore la *malléabilité*, cette qualité que possèdent certains métaux de se laisser étendre en feuilles, sans se déchirer. Opposée à l'élasticité et à la fragilité, elle appartient aux corps dont les atômes conservent leur cohésion dans quelque position qu'ils se trouvent, relativement les uns aux autres, et se disposent, en cédant à la compression, sans fracture et sans altération.

L'or est très-malléable, puisqu'on le réduit en feuilles dont il faut 360000 pour former un pouce d'épaisseur. L'argent, le cuivre, l'étain, se laissent aussi étendre en lames très-minces; presque tous les autres métaux se déchirent ou se brisent, si l'on pousse l'opération un peu loin.

LEÇON VIII[e].

DILATABILITÉ, CONDENSABILITÉ ET INERTIE DES CORPS.

Preuves de la dilatation des fluides et des solides. — Cause du changement continuel du volume des corps. — Application de la Dilatabilité aux arts. — Des pyromètres. Leur emploi. — Ce qu'on entend par Condensabilité. Ses effets. — De l'Inertie. — Faits qui prouvent l'existence de la force d'inertie.

De la Dilatabilité.

121. La *dilatabilité* est la propriété qu'ont les corps d'augmenter de volume par l'influence de la chaleur.

Nous prouverons la *dilatation* de tous les corps, en soumettant successivement à l'expérience les *gaz*, les *liquides* et les *solides*.

1° *Dilatation des gaz.*

122. Les *gaz* sont de tous les corps que nous connaissons, ceux qui se dilatent le plus.

On démontre la dilatabilité de l'air au moyen d'un tube de verre très-long, dont le diamètre intérieur est de 2 ou 3 millimètres, à l'extrémité duquel on a soufflé une boule. Avec certaines précautions, on y fait entrer une colonne de liquide coloré qui se tient

vers le milieu de la longueur du tube en *mm* (fig. 14), et sépare l'air intérieur de l'air extérieur. Cela fait, quand cette colonne est en repos, on approche la main près de la boule, et à l'instant on voit monter la colonne liquide; puis, en retirant la main, elle retombe peu à peu, et finit par revenir à sa première position : ce qui prouve qu'en reprenant le même degré de chaleur, l'air reprend aussi le même volume.

2° *Dilatation des liquides.*

123. Pour faire la même expérience sur les liquides, on se sert d'un tube semblable au précédent, que l'on remplit d'eau ou de mercure jusqu'au milieu *m* de sa longueur (fig. 15). Ensuite on chauffe la boule en la touchant avec la main, et la colonne monte de plus en plus jusqu'en m'; au contraire, si on la touche avec de la glace, la colonne tombe en m'', et elle retourne encore à sa position primitive quand la glace est éloignée.

3° *Dilatation des solides.*

124. Pour prouver la dilatation des solides, l'expérience la plus simple consiste à prendre une barre de métal qui s'ajuste très-exactement entre deux talons, dressés à angle droit (fig. 16) sur une plaque métallique assez épaisse. Si l'on fait rougir la barre, elle devient trop longue pour reprendre sa place; mais elle revient sur elle-même à mesure qu'elle se refroidit, et enfin quand elle n'a plus que la chaleur qu'elle avait d'abord, elle a repris sa longueur, et peut être placée de nouveau entre les points fixes.

La même quantité de chaleur appliquée aux différens corps ne les dilate pas tous également : ainsi le fer se dilate d'environ $\frac{1}{75000}$ dans chacune de ses dimensions, le cuivre de $\frac{1}{43000}$, le platine de $\frac{1}{92000}$ et le verre de $\frac{11}{1000000}$

125. Il suit des expériences précédentes que tous les corps sont dilatables; et la cause de leur dilatation est l'introduction dans leurs interstices d'une quantité plus ou moins grande de calorique, qui, par son abondance et son action, écarte les parties constituantes, et change ainsi le volume des corps en leur faisant occuper un espace plus grand que celui qu'ils avaient auparavant.

Du changement continuel du volume des corps.

126. Ce qui fait changer le volume des corps est la chose la plus inconstante. A chaque instant du jour ou de la nuit la chaleur varie, soit par l'action du soleil, soit par une foule d'autres causes; et tous les corps qui sont à la surface de la terre participent à ces

variations. Ils sont tour à tour plus dilatés ou plus contractés, et n'ont jamais les dimensions fixes que nous leur supposons. C'est par un mouvement de toutes les parties de l'intérieur et de l'extérieur que se produisent ces alternatives; et, si la porosité nous a fait voir que ces parties ne se touchent pas, la dilatation nous apprend maintenant qu'elles ne sont jamais en repos et qu'elles ne gardent jamais ni les mêmes distances, ni les mêmes positions relatives.

Application de la dilatabilité aux arts.

La propriété qu'ont en particulier les métaux de changer de volume par la chaleur et par la traction ou la compression a été mise à profit dans les arts.

C'est ainsi qu'on a réussi, par le moyen de *tirans* de fer chauffés et ensuite refroidis, à rapprocher, à remettre dans leur à-plomb, les murs du conservatoire des arts et métiers, à Paris.

Voici à peu près comment M. Biot rapporte, dans sa Physique, cette ingénieuse application de la dilatation des métaux, dont l'invention est due à M. Molard.

« Il y a quelques années, dit-il, qu'on s'aperçut au conservatoire des arts et métiers, que les deux murailles d'une galerie s'écartaient l'une de l'autre, et tendaient ainsi à se renverser en dehors par l'effort des planchers qu'elles supportaient. On perça de part et d'autre, dans ces murailles, des trous opposés également espacés, et l'on y introduisit de fortes barres de fer terminées par des vis que l'on serra en dehors avec de gros boulons. Cela suffisait pour retenir les murs, mais non pour les rapprocher, et aucune force humaine n'y serait parvenue. On chauffa avec des lampes la moitié du nombre des barres, de deux une; celles-ci s'allongèrent, et leurs boulons ne touchant plus contre le mur, on put les tourner facilement de nouveau: cela fait, on ôta les lampes; les barres, en se refroidissant, se contractèrent et ramenèrent avec elles les murs opposés. Par l'effet de ce rapprochement, les autres barres, qui n'avaient pas été chauffées, se trouvèrent trop longues, et l'on put resserrer leurs boulons. Alors on recommença à échauffer les premières barres, ce qui permit de rapprocher les murailles un peu davantage; et, d'expérience en expérience, on aurait pu, si on l'avait voulu, les renverser en dedans, par un mouvement contraire à celui que la pesanteur du plafond tendait d'abord à leur imprimer. »

C'est aussi par une application importante de la même propriété, qu'à Rome, on a consolidé la coupole de la superbe église de Saint-Pierre, en l'entourant d'un cercle de fer d'une force convenable.

Enfin, on sait que journellement on unit entre elles les jantes des roues des voitures légères, les douves des barriques, et qu'on *frète* les mâts de vaisseau, les pilotis, les moyeux des roues, et une foule de corps, en les enveloppant, avec force, de bandes de fer placées à chaud.

On conçoit, en effet, que le métal venant à se refroidir et tendant à rentrer sur lui-même, fait effort contre les obstacles qu'on lui a présentés, comme s'il avait été réellement allongé par une forte traction.

En se rappelant la dilatabilité des métaux, on préviendra une foule de fautes dans les constructions. On évitera, par exemple, de sceller à leurs extrémités des barres d'une certaine longueur, et dont le raccourcissement ou l'allongement serait nuisible; on laissera à toutes les pièces le jeu et la liberté nécessaires : ces précautions sont particulièrement indispensables dans l'établissement des lisses en fer des grands ponts, dans celui des tuyaux de conduite en fonte des fontaines, etc.

Des Pyromètres.

127. On nomme *Pyromètres* les instrumens qui servent à mesurer la chaleur de nos foyers les plus ardens.

De tous les pyromètres imaginés par les physiciens, nous n'en ferons connaître que deux, celui de Borda et celui de Regnier; ils suffiront pour donner une idée de ces instrumens et montrer leur usage.

128. Le pyromètre de Borda est formé par deux lames de métaux inégalement dilatables (fig. 17). Il est défectueux en ce qu'il laisse de l'incertitude sur les indications qu'il fournit aux températures supérieures à 350 degrés, puisqu'au-delà de ce terme la loi de la dilatation des métaux est inconnue. Toutefois en prenant compte de l'accroissement de dilatation, on obtiendrait, avec cet instrument, des températures plus exactes qu'avec aucun autre pyromètre connu.

129. Le second pyromètre est aussi fondé sur l'inégale dilatation de deux métaux; la figure 18[e] le représente : ACB est une tige de métal rectiligne, l'autre tige courbe ADB est d'un métal plus dilatable. Le changement de température fait varier la forme de l'arc ADB; on rend sensibles les variations par un levier coudé FCL, dont la marche est indiquée par un arc gradué *pr*. Cet instrument donne approximativement et les basses et les hautes températures; mais la complication de ce levier, formé de tiges de diverses sortes, fait qu'il est peu susceptible d'exactitude.

Usage des Pyromètres.

Quoique ces instrumens n'offrent pas une assez grande précision pour qu'on puisse regarder leurs indications comme très-rigoureuses, cependant leur emploi est quelquefois fort utile.

C'est un pyromètre composé d'une lame de cuivre et d'une lame de platine de la longueur de quatre mètres environ, et peu différent par la forme de celui de Borda, que les astronomes français ont employé comme unité linéaire dans les grandes opérations géodésiques entreprises dans ces derniers temps.

Si l'on veut que la température d'un four de porcelaine ne dépasse pas certaines limites, on place dans ce four un pyromètre de Regnier, et on

dirige le feu de manière que l'extrémité de la branche CL du levier, corresponde toujours à la même division de l'arc *pr*. Ce procédé est mis en usage à la manufacture de porcelaine de Sèvres.

De la Condensabilité.

130. On nomme *condensabilité* la propriété que possèdent les corps de diminuer de volume en se refroidissant; ce qui arrive toujours chaque fois qu'ils perdent une portion du calorique qui s'était introduit dans leurs pores.

131. Lorsqu'un corps passe d'un lieu plus chaud dans un lieu moins chaud, ou qu'il est entouré d'un air dont la température se trouve moins élevée que celui qui l'environnait auparavant, ou qu'enfin il est voisin d'un corps qui renferme moins de calorique que lui, il communique à ces corps voisins une portion de la matière de la chaleur qu'il avait et qui tenait ses parties écartées; car cette matière est un fluide, et le propre des fluides est de se répandre partout uniformément, tant qu'il n'y a pas de cause qui s'y oppose.

Les parties de ce corps, alors moins soutenues, retombent, se rapprochent les unes des autres, se renferment dans des limites plus étroites, en un mot, leur volume devient plus petit; voilà ce qu'on appelle *condensation*.

Mais, comme il n'existe pas de corps qui, en diminuant de chaleur, ne soit susceptible de cette espèce de rétrécissement, on doit en conclure que la *condensabilité* est une propriété générale des corps, qu'elle appartient à tous indistinctement et sans aucune exception.

132. On pourrait objecter que l'eau qui se gèle, en se refroidissant augmente cependant son volume; mais, quand on considère la formation de la glace, il est aisé de voir que cette augmentation est due à l'air, et que l'eau gelée est réellement de l'eau condensée.

De l'Inertie.

133. Tous les corps persévèrent dans l'état de mouvement ou de repos où ils se trouvent. On a désigné sous le nom d'*inertie*, ce défaut d'aptitude qu'ont les corps pour apporter d'eux-mêmes un changement dans leur état actuel; de manière qu'un corps ne peut se donner de mouvement par lui-même, ni rien changer à celui qu'il a reçu précédemment.

134. L'inertie à l'état de repos est offerte par une observation constante: jamais on n'a vu un corps en repos entrer de lui-même

en mouvement; jamais une pierre ne s'est brisée d'elle-même ni soulevée sur le sol, elle ne s'est ni durcie ni ramollie, ni échauffée, ni refroidie d'elle-même. Quant à l'inertie à l'état de mouvement, la nature nous en offre sans cesse des exemples frappans dans la rotation de la terre sur son axe, dans la révolution de la lune autour de la terre, dans celle enfin de tous les astres autour du soleil.

135. L'inertie est considérée comme une force qui réside dans tous les corps, soit qu'elle tende à les maintenir en repos, soit qu'elle les fasse persévérer dans le mouvement.

Ainsi, tous les changemens que subit la matière dans son état, dans son repos ou dans son mouvement, doivent être attribués à des causes ou à des forces particulières.

De là résultent ces deux principes de mécanique:

1° *Un corps, une fois en repos, restera éternellement en repos, s'il n'est mis en mouvement par quelque cause extérieure;*

2° *Un corps, une fois en mouvement, se mouvra toujours avec la même direction et la même vitesse, à moins qu'une force étrangère ne vienne s'y opposer.*

Faits qui viennent à l'appui de ces deux principes.

1° Lorsqu'on déploie les voiles d'un vaisseau, il ne s'avance pas immédiatement avec toute la vitesse que peut lui imprimer la force du vent; ce n'est que graduellement que l'action continue de ce moteur parvient à vaincre l'inertie de la masse. — Vient-on, au contraire, à les reployer subitement, la masse continue à se mouvoir comme si rien n'était changé, et ce n'est que peu à peu que la résistance de l'eau arrête enfin le mouvement du navire.

2° Quand une voiture suspendue commence à se mouvoir, la caisse semble se rejeter en arrière, et le voyageur paraît lui-même comme poussé sur les coussins du fond.—Rencontre-t-elle un obstacle qui l'arrête subitement, la caisse est lancée en avant, et la tête inattentive du voyageur indolent s'en va quelquefois traverser la glace qui lui est opposée.

3° De même, celui qui se place étourdiment debout sur l'arrière d'un bateau, tombe dans l'eau à la renverse lorsque la barque commence à se mouvoir. S'il a le bonheur d'échapper à cet accident, et qu'il persiste à conserver sa position, la barque, en s'arrêtant subitement au rivage, lui offrira un lit plus dur sur son plancher.

4° Un mauvais cavalier est quelquefois renversé sur la croupe de son cheval, lorsque l'animal part subitement. Un écart sur la droite le jette à gauche, et réciproquement un écart sur la gauche le jette à droite. Lancé au galop, si l'animal vient à s'arrêter subitement, le cavalier saute par dessus ses oreilles.

5° Un homme qui s'élance d'un cabriolet en mouvement, court grand risque de tomber lorsque ses pieds viennent toucher la terre: car son corps

conserve la vitesse qu'il avait dans la voiture, à moins qu'il ne puisse avancer son pied comme lorsqu'il court, il sera infailliblement renversé en avant, comme un coureur dont le pied rencontre soudainement un obstacle.

6° L'écolier qui veut sauter un fossé, commence avec raison par s'en éloigner, pour revenir en courant jusqu'au bord; car il conserve alors la vitesse qu'il a acquise. — Personne n'ignore qu'on saute bien plus loin lorsqu'on prend son élan, qu'on ne pourrait le faire sans cela.

Un homme qui voyageait en Afrique, voyant un tigre qui le suivait, attendant une occasion favorable pour se jeter sur lui, à la manière de ces animaux, dirigea ses pas vers des broussailles, sur le bord d'un précipice; là, il déposa adroitement son manteau et son chapeau, et s'étant couché à quelques pas, il eut le bonheur de voir le tigre s'élancer sur le manteau, et, en vertu de l'inertie, rouler avec lui dans le précipice.

7° Si l'on pousse brusquement un verre rempli d'eau et posé sur une table, l'eau se répand en partie et du côté de la personne qui a donné l'impulsion. Mais si, au contraire, le verre, toujours plein d'eau, est déjà en mouvement, comme, par exemple, lorsqu'on le porte en marchant, le porteur rencontre-t-il un obstacle qui l'arrête subitement, l'eau se répand du côté qui lui est opposé.

8° Un domestique qui porte dans l'obscurité un plateau chargé de verrerie ou de porcelaine, et qui rencontre un obstacle, entend souvent toute sa charge rouler en avant et se briser sous ses pieds; si, chargé de la même manière, il part trop brusquement, les vases se renversent encore, mais alors c'est de son côté.

9° C'est aussi en vertu de l'inertie de la matière que la poussière se détache d'un habit lorsqu'on le bat; que la neige quitte le pied dont on frappe la terre avec force.

10° Le médecin qui soupçonne que son malade a une maladie de cerveau, le prie de secouer la tête et de lui dire où il éprouve de la douleur. L'inertie de la cervelle, lorsque le crâne se meut subitement, fait qu'elle presse assez contre sa paroi intérieure pour que la partie affectée ressente une douleur momentanée qui fournit au médecin un indice précieux.

11° Si un boulet de canon venait à se briser dans sa route, tous les fragmens persisteraient dans leur mouvement progressif avec la vitesse acquise. Ainsi, dans ces inventions infernales, ces bombes, ces fusées de guerre qu'on remplit de plusieurs centaines de balles de fusil et qu'on lance à la distance voulue du corps dévoué, ces balles conservent la vitesse de la fusée lorsqu'elle éclate, et sèment la mort autour d'elles, produisant de cette manière le même effet que la décharge d'un bataillon tout entier.

12° Lorsqu'un vaisseau qui se meut d'un mouvement rapide, vient à donner sur un roc, tout ce qui est à bord, hommes, canons, meubles se trouvent lancés en avant, et la poupe, en vertu de l'inertie, continue elle-même à se mouvoir dans le même sens, pressant ainsi contre le roc la proue qu'elle écrase enfin.

Ces exemples sont tirés de la Physique du docteur Anglais Neil-Arnott, ouvrage tout à la fois intéressant, utile et susceptible d'être entendu des personnes peu versées dans la connaissance des sciences exactes.

LEÇON IXe.

DE LA MOBILITÉ.

Ce que c'est que la Mobilité. — Des différentes sortes de mouvemens. — Du repos. — De la masse. — De l'espace. — Idée du Temps. — De la Vitesse. — De la Force. Comment on l'estime. Formule générale de son expression, et principes qui en dérivent.

136. La *Mobilité* est la propriété en vertu de laquelle les corps peuvent être transportés d'un lieu dans un autre *. Cet état se nomme alors *mouvement;* il suppose l'action d'une cause à laquelle on a donné le nom de *force* ou de *puissance*. Pour que cette cause existe, il n'est pas nécessaire que le corps qu'elle sollicite ait un mouvement réel. Ainsi, lorsque deux corps se font équilibre aux deux extrémités des bras d'une balance, ils sont maintenus dans cet état par des forces réellement existantes, mais dont les effets se détruisent mutuellement, ou se bornent à produire dans les corps une tendance à se mouvoir.

137. Un corps est donc en *mouvement,* lorsque sa distance à un point fixe varie; on dit qu'il est en *repos*, quand ses distances à trois points fixes et non en ligne droite, restent les mêmes.

138. On considère deux sortes de mouvemens : le *mouvement absolu* et le *mouvement relatif*.

Le premier est celui d'un corps qui est transporté d'une partie de l'espace dans une autre, en vertu d'une impulsion ou d'une force qui lui a été imprimée; le second est celui d'un corps qui change de situation par rapport à ceux auxquels on le compare.

Remarque. Un corps peut avoir le mouvement relatif sans avoir le mouvement absolu; il suffit pour cela de le comparer, lorsqu'il est en repos, à des corps animés d'un mouvement quelconque.

Deux corps ont le mouvement absolu sans avoir le mouvement relatif, lorsqu'ils se meuvent avec la même vitesse, suivant des directions parallèles.

139. Le *repos* est un état purement négatif; on en distingue de deux sortes, le *repos absolu* et le *repos relatif*.

Le premier est la persévérance d'un corps à rester constamment

---

* La *mobilité* est la même dans toutes les molécules de matière, et conséquemment indépendante de la figure et du poli de la surface, qui influent exclusivement sur la grandeur des résistances qui s'opposent au mouvement.



dans la même partie de l'espace; le deuxième est la même situation d'un corps à l'égard de tous ceux qui l'environnent.

Par exemple, plusieurs personnes placées dans une voiture en mouvement, sont en repos, les unes à l'égard des autres; mais elles sont en mouvement, par rapport à des points de la terre considérés comme fixes.

140. Le repos absolu n'existe pas dans la nature : depuis les plus petites molécules de matière jusqu'à ces globes immenses qui roulent au-dessus de nos têtes, il n'y a partout que mouvement ou tendance au mouvement. C'est cette tendance qui résiste au repos absolu. Elle anime sans cesse les molécules de matière, les fait entrer dans différentes combinaisons, leur fait prendre mille et mille formes, qui concourent à varier et à vivifier la nature.

Distinction des mouvemens.

141. Le mouvement peut être *uniforme*, ou *accéléré*, ou *retardé*.

Le mouvement est *uniforme*, lorsque le mobile parcourt toujours la même distance dans des temps égaux; il est *accéléré* ou *retardé*, suivant que le mobile parcourt dans des temps égaux des distances qui successivement augmentent ou diminuent.

Par exemple, l'aiguille des minutes d'une montre, le cours régulier des eaux, la rotation de la terre autour de son axe, nous offrent des mouvemens sensiblement *uniformes*, parce que des espaces égaux sont décrits dans des temps égaux.

Un corps qui tombe verticalement sur la surface de la terre, est animé d'un mouvement *accéléré;* celui au contraire qui s'élève verticalement, par une impulsion quelconque, jouit d'un mouvement *retardé*.

142. Dans le mouvement d'un corps, on considère la masse, l'espace parcouru, le temps, la vitesse et la force qui le produit.

De la Masse.

143. La *masse* d'un corps est la somme totale des molécules matérielles qu'il contient, sans avoir égard à son volume, ou abstraction faite des pores.

Ainsi, deux corps d'un égal volume, peuvent avoir des masses différentes, et réciproquement.

144. De là résulte une qualité des corps, relative à la quantité plus ou moins grande de matière propre qui entre sous une même unité de volume, tel qu'un mètre cube ou un centimètre cube : on la nomme *densité*.

La densité est donc le rapport de la masse au volume, ou, ce qui revient au même, elle équivaut à la masse divisée par le volume. Par exemple, un

morceau de fer peut avoir plus de masse qu'un morceau d'or, si son volume l'emporte assez pour cela sur celui de l'or; mais le fer est moins *dense* que l'or, parce qu'il renferme, sous un volume donné, moins de parties matérielles.

De l'Espace.

145. On peut concevoir tous les corps de la nature anéantis, et conserver encore l'idée d'une immense étendue qui se prolonge en tous sens et qu'on appelle *espace absolu.*

Une partie quelconque de cet espace se nomme *espace relatif.*

L'espace absolu est infini, immuable. L'espace relatif, au contraire, peut être mû et mesuré.

L'unité employée à cette mesure est le *mètre*, la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

Du temps.

146. Le mot *temps* ne désigne pas une chose réelle; il exprime un certain ordre de choses qui se succèdent sans interruption.

Pour concevoir ce que c'est que le temps, il suffit de faire attention à la manière dont nos idées se suivent continuellement, ou bien d'examiner comment un corps en mouvement change de place en passant successivement de l'une à l'autre. D'où il résulte que c'est dans le mouvement qu'on a dû chercher la mesure du temps. Pour en avoir une mesure exacte et rigoureuse, il faudrait trouver un corps dont le mouvement fût toujours également rapide. Ne trouvant pas ce modèle dans la nature, il a fallu se contenter d'une approximation, en tirant la mesure du temps du mouvement diurne de la terre, et en prenant pour *unité* la durée de la révolution apparente d'une étoile autour de cette planète, qui s'opère en 24 heures.

De la Vitesse.

147. La comparaison de l'espace parcouru au temps employé à le parcourir, a fait naître l'idée de vitesse.

La *vitesse* est donc l'espace parcouru dans un temps donné. Ainsi, un corps en mouvement a 6 *mètres* de vitesse par seconde, quand dans ce temps il parcourt un espace de 6 *mètres.*

148. Si un corps parcourt des espaces égaux en des temps égaux, sa vitesse est dite *uniforme.*

149. La vitesse *accélérée* est celle d'un mobile qui, dans des temps égaux, parcourt des espaces qui vont toujours en augmentant, ou bien des espaces égaux dans des temps qui vont toujours en décroissant. Si les distances parcourues augmentent également dans des temps égaux, la vitesse est *uniformément accélérée.*

150. Lorsqu'un mobile mesure des espaces égaux dans des temps qui augmentent de plus en plus ; ou si, en supposant l'égalité des temps, les espaces parcourus vont toujours en décroissant, la vitesse est *retardée :* elle est *uniformément retardée,* si les décroissemens des espaces parcourus sont les mêmes dans des temps égaux.

151. Les différens mouvemens *uniformes, accélérés* ou *retardés* (141), résultent d'une vitesse elle-même *uniforme, accélérée* ou *retardée.*

Remarque. Les mouvemens uniformes sont plus lents ou plus rapides suivant que leur vitesse est plus petite ou plus grande : le vent ordinaire ne parcourt que 60 mètres en une minute, tandis que le vent des orages franchit jusqu'à 2700 mètres ; ce dernier mouvement est 45 fois plus rapide que le premier.

152. Un corps étant inerte (133), le mouvement qu'il reçoit d'une force extérieure doit être *uniforme* et *rectiligne.*

D'abord, il est uniforme; car pour qu'il fût accéléré, il faudrait que le corps se donnât du mouvement dans le sens de celui qu'il a déjà; et, pour qu'il fût retardé, il serait nécessaire qu'il s'en ôtât, c'est-à-dire qu'il s'en donnât en sens contraire ; ce qui est également impossible.

En second lieu, sa *direction* est une ligne droite ; car un corps ne peut se détourner sans se donner du mouvement à droite ou à gauche.

153. Dans tout mouvement uniforme, la vitesse étant l'espace parcouru en une unité de temps (147), il est évident que si on la répète autant de fois qu'il y a d'unités de temps employées, on obtiendra l'espace total parcouru par le corps.

Ainsi, un mobile qui parcourrait une distance de 6 mètres par seconde, franchirait en 5 secondes un espace de $6^{m} \times 5$ ou 30 mètres.

Remarque. En désignant généralement par V la vitesse d'un corps en mouvement uniforme, par T le temps pendant lequel il se meut, et par E l'espace total qu'il aura parcouru, on obtiendra l'égalité

$$E = V \times T;$$

formule qui donne l'une des trois choses E, T, V, lorsque l'on connaît les deux autres.

On en déduit aussi les rapports qui existent entre les *espaces*, les *temps* et les *vitesses* des différens corps en mouvement uniforme.

Ces rapports sont faciles à obtenir ; car, pour un autre corps aussi en mouvement uniforme, on a, comme précédemment, la relation

$$E' = V' \times T';$$

et, cette nouvelle formule, combinée avec la première, donne, par voie de Division,

$$\frac{E}{E'} = \frac{V \times T}{V' \times T'}.$$

Ce qui veut dire que *les espaces parcourus par deux mobiles en mouvement uniforme, sont entre eux comme les produits des temps par les vitesses.*

En supposant successivement dans cette dernière égalité les *espaces*, les *vitesses*, puis les *temps* égaux, ou

$$E=E', \quad V=V', \quad T=T',$$

on en tirera trois résultats différens qu'il sera facile d'énoncer en autant de principes.

De la Force.

154. On a donné le nom de *force* à la cause inconnue qui agit pour produire le mouvement.

155. Les forces ne se manifestent à nous que par leurs effets; ce n'est que par ceux qu'elles produisent que nous pouvons les mesurer et les comparer. Or, l'effet d'une force est de faire passer une même vitesse dans toutes les molécules d'un corps; sa mesure a donc pour expression le produit de la *vitesse* multipliée par la *masse* du corps. De manière que si M représente la masse d'un mobile, V sa vitesse et F sa force, on a $F=V\times M$.

Ce produit $M\times V$ de la masse par la vitesse, est ce qu'on appelle *la quantité de mouvement d'un corps.*

156. Plusieurs physiciens prétendaient que certaines forces devaient s'estimer par le produit de la masse multipliée par le *quarré* de la vitesse. Cette théorie est renversée par une foule d'expériences, entre lesquelles nous ne citerons que celle de la machine à *collision*, où un corps d'une masse $=1$, animé d'une vitesse $=2$, fait équilibre à un autre corps d'une masse $=2$, dont la vitesse $=1$. Ce qui n'aurait pas lieu, si la force s'estimait par le produit de la masse par le quarré de la vitesse; puisqu'alors la force du premier serait $1\times 2^2=1\times 4=4$, tandis que celle de l'autre ne serait que $2\times 1^2=2\times 1=2$.

157. Du principe exposé dans le n° 155, il résulte :

1° Que si l'on compare les *forces* de deux corps en mouvement, elles seront entre elles comme les produits des *masses* par les *vitesses*;

2° Que si leurs masses sont égales, les forces seront dans le rapport des vitesses;

3° Que si les vitesses sont les mêmes, les forces seront proportionnelles aux masses;

4° Enfin, que si les forces sont équivalentes, les vitesses sont en rapport inverse des masses, ou celles-ci en rapport inverse des vitesses.

Il est facile de démontrer toutes ces relations; car, en représentant par F', M' et V', la *force*, la *masse* et la *vitesse* d'un second mobile, on aura encore (155),

$$F'=M'\times V'.$$



Divisant terme à terme la première expression par cette dernière, il vient

$$\frac{F}{F'} = \frac{M \times V}{M' \times V'};$$

ce qui répond à la première conséquence énoncée.

En faisant dans ce résultat successivement $F = F'$, $M = M'$, $V = V'$, on tirera la preuve des trois autres.

REMARQUE. Nous verrons plus loin des applications du même principe aux propriétés des machines employées dans les Arts.

LEÇON Xe.

NOTIONS DE STATIQUE.

Ce qu'on entend par équilibre. — Mesure des forces. — Des forces égales, forces doubles, etc. — Des Systèmes de forces. — Résultante de plusieurs forces. — Du parallélogramme des forces. — Résultante de forces parallèles — Des couples. — Applications diverses.

De l'Équilibre.

158. L'*Équilibre* est l'état de repos dans lequel se trouve un corps sollicité par plusieurs forces qui s'entre-détruisent.

Ainsi, un corps est en équilibre à l'extrémité du fil qui le suspend, parce que la pesanteur qui le sollicite, est détruite par la résistance du fil et par celle du point de suspension; si le fil n'est pas assez résistant, il se rompt et le corps tombe; si le point d'attache est mal assuré, le corps l'entraîne et tombe avec lui. Quelquefois l'équilibre a lieu sans point fixe et sans résistance apparente: les poissons les plus pesans sont en équilibre dans l'eau; un ballon avec ses agrès, sa nacelle, et les observateurs qu'il emporte, peut aussi être en équilibre dans les airs; mais alors la pesanteur qui sollicite ces corps est exactement détruite par des pressions particulières, comme on le verra plus loin à l'article des fluides. On peut dire que tous les corps qui nous paraissent en repos, ne sont en effet que des corps en équilibre, parce qu'ils sont toujours soumis à l'action de plusieurs forces qui se détruisent l'une l'autre.

159. La science qui a pour objet de déterminer les conditions d'équilibre s'appelle *Statique;* celle qui détermine les lois des mouvemens qui se produisent quand les conditions d'équilibre ne sont pas remplies, se nomme *Dynamique*. Ces deux sciences prises ensemble composent la *Mécanique*, qui comprend conséquemment les lois de l'équilibre et celles du mouvement.

Mesure des forces.

160. On ne peut mesurer les forces qu'en prenant pour unité une force convenue, comme on mesure les longueurs ou les poids, en prenant pour unité une longueur ou un poids déterminé. De plus, la notion de grandeur ne s'appliquant pas directement aux forces, il faut définir avec précision ce qu'on appelle *forces égales*, *forces doubles*, *etc.*

Pour que deux forces soient *égales*, il faut qu'elles se fassent équilibre, lorsqu'on les oppose l'une à l'autre sur un point, ou aux extrémités d'une droite inflexible. Deux forces égales donnent une force *double* quand on les ajoute, c'est-à-dire, quand on les fait agir dans le même sens et dans la même direction; on aurait une force *triple*, si l'on faisait agir dans le même sens trois forces égales, et ainsi de suite.

D'après cela, si l'on convient de représenter une force par un nombre ou par une ligne, la force double de celle-là sera représentée par un nombre double ou par une ligne double, etc. C'est ainsi que nous pouvons toujours représenter les forces par des grandeurs numériques ou linéaires, et faire sur elles les mêmes opérations que nous faisons sur ces grandeurs.

De la Résultante.

161. Quel que soit le nombre des forces qui agissent sur un point et quelles que soient leurs directions *, elles ne peuvent, en dernier résultat, imprimer à ce point qu'un seul mouvement dans une direction déterminée. Or, on conçoit qu'il existe une certaine force, qui serait à elle seule capable de produire le même effet; et cette force unique qui pourrait remplacer l'ensemble de toutes les autres, est ce qu'on appelle leur *résultante*.

Ainsi, quand un bateau se meut à la fois par la force du courant, par la force des rames et par celle du vent, on peut concevoir une force unique, un fil assez fort, par exemple, qui, étant attaché au bateau, serait tiré dans une telle direction et avec un tel effort qu'à lui seul il lui imprimât à chaque instant le même mouvement que toutes ces forces réunies; il en serait la *résultante*. Le courant, le vent et les rames cessant d'agir, et le fil dont nous parlons leur étant substitué, rien ne serait changé quant au résultat.

---

* La *direction* d'une force est la ligne droite suivant laquelle elle agit.



Des Systèmes de forces.

162. L'ensemble des forces qui concourent à produire un effet se nomme *système de forces;* ces forces s'appellent aussi des *composantes,* quand on les considère par rapport à la *résultante* qui pourrait les remplacer. Il est évident que si à un système de forces on ajoutait une force nouvelle, qui fût égale à la résultante et dirigée en sens contraire, l'équilibre aurait lieu dans ce nouveau système de forces. C'est là précisément ce qui caractérise la résultante.

Ainsi, dans l'exemple précédemment choisi, tandis que les forces du courant, du vent et des rames exercent leur action, si l'on ajoutait un fil assez résistant, dirigé en sens contraire de celui qui représente la résultante et tiré avec le même effort, cette nouvelle force produirait l'équilibre. Le bateau serait plus fixé que s'il était à l'ancre; il ne pourrait avancer, ni reculer, ni se mouvoir d'aucun côté, jusqu'à ce qu'il arrivât quelque force nouvelle, ou quelque changement dans les forces agissantes pour déranger l'effort par lequel elles se détruisent.

Résultante de plusieurs forces qui agissent dans la même direction.

163. Quand toutes les forces qui agissent sur un point tendent à le mouvoir sur une même ligne, il peut se présenter deux cas: 1° Si toutes ces forces agissent dans le même sens, la résultante est égale à leur somme; 2° si elles agissent les unes dans un sens et les autres dans le sens opposé, la résultante est égale à la différence des deux résultantes partielles et agit dans le sens de la plus grande.

Principe général de la composition des forces.

164. Deux forces agissent angulairement sur le point A (fig. 19), l'une dans la direction AX, et l'autre dans la direction AY; la première est représentée en grandeur par AF, et la deuxième par AF'. Il est clair que le point A ne peut se mouvoir, ni suivant AF, ni selon AF', et qu'il doit prendre une direction intermédiaire. C'est ce que le bon sens nous indique d'abord; mais c'est à peu près tout ce qu'il peut nous faire voir. Car pour déterminer cette direction moyenne que doit prendre la résultante, et aussi l'intensité qu'elle doit avoir par rapport aux composantes, il faut recourir à des considérations que nous ne pouvons exposer ici. Nous nous contenterons d'énoncer le principe général de la *composition des forces;* et voici en quoi il consiste.

On construit le parallélogramme AFRF′ sur les grandeurs des deux forces données et l'on mène la diagonale AR; cette diagonale représente à la fois la *grandeur* et la *direction* de la résultante. Ainsi le point A, sollicité par les deux forces AF et AF′, est exactement dans le même cas que s'il était sollicité par une seule force, qui serait dirigée suivant AZ, et qui aurait une grandeur égale à AR. Ce principe est vrai pour les forces égales comme pour les forces inégales; pour celles qui font un angle droit ou obtus, comme pour celles qui font un angle aigu quelconque. C'est le principe fondamental de toute la Statique : il est connu sous le nom de *parallélogramme des forces*.

Quand les deux forces sont égales, la résultante divise toujours leur angle en deux parties égales; mais pour sa grandeur, elle est tantôt égale à celle des composantes, tantôt plus grande et tantôt plus petite (fig. 20, 21 et 22).

Quand les deux forces sont inégales, la résultante divise leur angle en deux parties inégales, et elle est toujours plus rapprochée de la force la plus grande (fig. 23).

165. Puisque deux forces peuvent être remplacées par une seule, réciproquement une seule force peut être remplacée par deux autres. On voit même qu'il y a une infinité de systèmes différens qui peuvent donner lieu à la même résultante (fig. 24); et que réciproquement, il y aura une infinité de manières de remplacer une seule force par le système de deux autres, quand on n'exige rien ni sur leur grandeur ni sur leur direction. Mais si l'on demande par exemple (fig. 25) de remplacer la force AR par deux autres forces, dont l'une soit dirigée suivant AY, et soit d'une grandeur AF′; alors le problème est déterminé, parce qu'il n'y a plus qu'une manière d'achever le parallélogramme et de trouver la composante AF.

Résultante d'un nombre quelconque de forces agissant au même point.

166. Lorsqu'on sait trouver la résultante de deux forces qui agissent au même point, on trouve aisément la résultante d'un nombre quelconque de forces; car on prend la résultante des deux premières, puis la résultante de celle-ci et de la troisième force, puis celle de cette nouvelle résultante avec la quatrième force, et ainsi de suite; en commençant à volonté par l'une ou par l'autre (fig. 26).

Résultante des forces parallèles.

167. Quand deux forces parallèles AF et A′F′ (fig. 27), agissent sur une ligne AA′, elles peuvent aussi être remplacées par une force

unique qui est leur résultante, et dont on trouve l'intensité, la direction et le point d'application par les principes suivans :

1° La résultante de deux forces parallèles est égale à leur somme quand elles agissent dans le même sens, et à leur différence quand elles agissent en sens contraire.

2° Elle est parallèle aux composantes.

3° Elle est appliquée en un point G, tel que les distances GA et GA' soient en raison inverse des forces AF et A'F'. Ce point d'application de la résultante s'appelle le *centre des forces parallèles*. Une propriété remarquable de ce point, c'est qu'il reste le même quand les forces changent de direction absolue, en conservant leur parallélisme : car si les mêmes forces agissaient suivant A*f* et suivant A'*f'*, leur résultante passerait encore par le point G, puisque les forces n'ayant point changé d'intensité, leurs grandeurs seraient encore en raison inverse des distances GA et GA'.

La résultante d'un nombre quelconque de forces parallèles se trouve en composant d'abord les deux premières, puis leur résultante avec la troisième, et ainsi de suite.

Des Couples.

168. Deux forces égales, parallèles et opposées forment ce qu'on appelle un *couple*. D'après ce que nous venons de dire, la résultante d'un couple est égale à *zéro*, et cependant le système n'est pas en équilibre; c'est un des cas très-particuliers où deux forces ne peuvent pas être remplacées par une seule. Un couple peut bien être transformé en un autre couple; on peut même le transformer d'une infinité de manières, mais jamais on ne peut le remplacer par une force unique; et par conséquent, pour un couple, il n'y a jamais de condition d'équilibre. Si on le laisse agir il fait tourner la ligne AA' (fig. 28), jusqu'à ce qu'il se soit déployé dans la longueur FF' (fig. 29). Alors il n'y a plus de couple, et l'équilibre est stable. Si l'on avait reployé le couple dans la position marquée par la *Fig.* 30, il y aurait aussi équilibre, mais équilibre instable; car en le déployant un peu, il ferait tourner la ligne et se déploierait tout-à-fait.

Diverses applications du principe de la composition des forces.

1° Si l'on observe la nature, il est aisé de voir que quand les poissons, les oiseaux, les reptiles veulent aller en avant, leur mouvement est toujours précédé de deux coups de queue fortement frappés en sens contraires. Le corps prend un mouvement composé de ces deux impulsions; il ne va ni à droite ni à gauche, mais dans une direction qui tient le milieu entre l'une et l'autre.

2° Le batelier qui veut traverser une rivière, la remonte d'autant plus obliquement, que son courant est plus rapide. En agissant de cette manière, son bateau participe au mouvement qu'il lui imprime obliquement au fil de l'eau, et au mouvement que le courant lui communique; et c'est ainsi qu'il arrive au point où il veut aboutir sans paraître s'y diriger.

3° C'est sur le principe de la composition des forces qu'est fondé le mécanisme de tous les vols obliques dont les grands spectacles nous offrent assez souvent l'exécution.

4° Un noyau pressé obliquement entre les doigts s'en échappe avec vitesse, et va, par un mouvement composé, frapper le but vers lequel il est dirigé.

5° Ce que l'on jette par la portière d'une voiture en mouvement, ou sur le rivage quand on est dans un bateau emporté par le courant, n'arrive jamais au but qu'on s'est proposé, si l'on ne considère que la seule impulsion du bras. Outre celle-ci, il faut avoir égard au mouvement de la voiture ou du bateau, qui est commun au mobile et à la main : aussi lorsqu'on saute hors d'un carrosse ou d'un bateau en mouvement, faut-il s'attendre à tomber au-dessous de l'endroit qu'on a vis-à-vis soi à l'instant même qu'on s'élance.

LEÇON XIe.

DE L'ÉQUILIBRE DANS LES MACHINES.

Ce qu'on doit entendre généralement par machine. — Machines simples et composées. — De la Résistance, de la Puissance et du Point d'appui considérés dans chacune d'elles. — Du Levier. — Condition d'équilibre du Levier. — Pression sur le Point d'appui. — Les différens genres de Levier. — Mesure de la distance de la puissance ou de la résistance au point d'appui. — Application des Leviers aux machines. — Principe général d'équilibre. — Effets que produisent les Leviers. — Du Levier courbe. Son usage.

Des Machines.

169. On appelle *machine* tout instrument propre à produire du mouvement, de manière à épargner ou du temps dans la production de l'effet, ou de la force dans la cause.

170. Il existe plusieurs machines qui sont les élémens des autres, et auxquelles on a donné le nom de *machines simples;* on en compte six, le Levier, la Poulie, le Tour, le Plan incliné, la Vis et le Coin.

L'assemblage de plusieurs machines simples forme des *machines composées;* leur nombre est conséquemment illimité.

171. Dans toute machine on considère la *résistance*, qui est une

force à vaincre ou à laquelle on veut faire équilibre; la *puissance*, ou la force employée pour détruire la résistance ou seulement lui faire équilibre; et le *point d'appui*.

De la Résistance.

172. Il y a autant de sortes de résistances qu'on peut se proposer d'objets dans la construction d'une machine. Tantôt c'est un poids qu'il faut élever ou soutenir, un bateau qu'on veut faire remonter contre le courant, une forte pression qu'on veut exercer; quelquefois c'est la cohésion des molécules d'un corps qu'il faut rompre; enfin il existe encore une autre sorte de résistance qui dépend uniquement de l'imperfection des machines, comme le frottement, la raideur des cordes, etc.

De la Puissance.

173. Les puissances qu'on applique le plus ordinairement aux machines sont des poids, la force d'un fluide en mouvement, tels que l'eau, l'air, la vapeur aqueuse, le calorique; enfin la force des hommes et des animaux.

174. Les poids s'appliquent avec avantage aux machines, lorsqu'on veut seulement les mettre en équilibre, parce que la pesanteur qui les sollicite présente une continuité d'effets; mais il est rare qu'on les emploie pour soulever des fardeaux et produire des mouvemens un peu considérables, par la raison qu'il leur faut de trop grands espaces pour descendre, et qu'on est obligé de les remonter trop souvent.

Nous ne parlerons ici ni de la force des fluides, ni de celle des animaux qu'on emploie le plus fréquemment comme puissance dans les machines; c'est à la mécanique qu'il faut recourir pour avoir les résultats des nombreuses expériences qui ont été faites pour apprécier leurs efforts, et particulièrement la force de l'homme.

Du Point d'appui.

175. Le *point d'appui* est un point fixe et inébranlable, pour résister aux efforts de la puissance et de la résistance, et sur lequel ou autour duquel la machine se meut ou tend à se mouvoir.

On peut regarder la *puissance*, la *résistance* et le *point d'appui* comme trois forces quelconques dont les effets réciproques se détruisent dans le cas d'équilibre.

Du Levier.

176. On nomme *Levier* une barre inflexible, droite ou courbe qui peut tourner autour d'un point fixe, qu'on appelle *point d'appui* (fig. 31 et 32).

177. Un levier ne peut jamais être en équilibre sous l'action d'une seule force, à moins que le prolongement de cette force ne passe par le point fixe (fig. 33 et 34).

178. Un levier étant sollicité par deux forces situées dans le même plan, il y a deux conditions pour qu'il reste en équilibre. *Il faut premièrement que ces forces tendent à le faire tourner en sens contraire, et secondement que leurs intensités respectives soient en raison inverse de leurs bras de levier.* Le *bras de levier d'une force* est la longueur de la perpendiculaire abaissée du point d'appui sur la direction de cette force, ou sur son prolongement; ainsi PQ (fig. 35) est le bras de levier de la force AF, et PQ′ celui de la force A′F′. Ces deux forces étant supposées dans le même plan, on voit qu'elles tendent à faire tourner le levier en sens contraire et qu'elles remplissent la première condition; mais pour qu'elles satisfassent aussi à la seconde, il faut *que la première force contienne la seconde autant de fois que le bras de levier de la seconde contient le bras de levier de la première.* Si, par exemple, AF est double de A′F′, il faudra que PQ′ soit double de PQ; si AF était mille fois A′F′, il faudrait que PQ′ fût mille fois PQ. Cependant on ne doit pas croire que PQ étant d'un mètre, par exemple, et PQ′ de mille, un homme qui tirerait suivant A′F′ pût faire équilibre à mille hommes de même force qui tireraient suivant AF; car en passant à la pratique, il se présente des résistances dont la théorie ne tient pas compte.

Pression sur le point d'appui.

179. Dans l'équilibre du levier, le point fixe supporte une certaine pression qu'il est utile de connaître. Pour cela, il suffit de transporter les forces au point de rencontre de leurs directions prolongées (fig. 36), et de chercher leur résultante par la règle du parallélogramme des forces; cette résultante passe par le point d'appui, et exprime par conséquent la grandeur et la direction de la pression qu'il supporte. Si les forces étaient parallèles (fig. 37), on sait, par ce que nous avons dit (167), que la résultante serait parallèle aux composantes et égale à leur somme.

Des différentes sortes de levier.

180. On distingue trois sortes de levier, suivant les positions relatives du point d'appui et des points d'application de la puissance et de la résistance. Dans *le levier du premier genre,* le point d'appui *a* est entre la puissance *p* et la résistance *r* (fig. 38):

la balance est un levier de cette espèce. Quand la résistance *r* se trouve entre le point d'appui *a* et la puissance *p*, c'est *un levier du second genre* (fig. 39). Enfin dans celui du *troisième genre*, la puissance est placée entre la résistance et le point d'appui (fig. 40).

Ligne de direction.

181. La *ligne de direction* d'une puissance appliquée à une machine, est une ligne droite suivant laquelle cette puissance soutient un poids ou le met en mouvement. La *ligne de direction* d'un poids ou de la résistance appliquée à une machine, est la droite suivant laquelle ce poids ou la résistance se meut ou tend à se mouvoir.

La ligne *mp*, par exemple, est la direction de la puissance *p*, appliquée perpendiculairement au levier *ram* (fig. 41). La ligne *mp'* est la direction de la puissance *p'* appliquée obliquement au même levier. Enfin *rr* est la direction du poids ou de la résistance *r*.

Mesure de la distance de la puissance ou de la résistance au point d'appui.

182. La distance de la puissance ou de la résistance au point d'appui d'un levier quelconque, est toujours marquée par la perpendiculaire menée de ce point d'appui sur la ligne de direction de la puissance ou de la résistance.

Ainsi, la ligne *am* (fig. 41), perpendiculaire à la direction *mp*, indique de combien la puissance *p* est éloignée du point d'appui *a*; la ligne *ar*, perpendiculaire à *rr*, indique la distance du poids ou de la résistance *r* au point d'appui *a*; enfin *ao*, perpendiculaire sur la ligne de direction *omp'*, exprime la distance de la puissance *p'* au point d'appui *a*.

Il suit de là qu'une puissance dont la direction est perpendiculaire à la machine, se trouve plus éloignée du point d'appui que celle dont la direction est oblique à la même machine. En effet, si on applique la main au point *m*, on sera éloigné du point d'appui *a* de la distance *am*; si on l'applique au point *p'*, on sera éloigné du même point d'appui *a* de la distance *ao*. Or, *ao* opposé à l'angle aigu *m*, est plus petit que *am* opposé à l'angle droit *o*; donc la main appliquée au point *m* sera plus éloignée du point d'appui *a* que si elle est appliquée en *p'*.

183. La distance au point d'appui marque la vitesse; par conséquent le point *p* (fig. 38) aura plus de vitesse que le point *r*. En voici la preuve : le levier *rap* ne peut se mouvoir sur son point

d'appui *a*, sans que le poids ou la puissance *p* parcoure le grand arc *pn* ou *po*, dans le même temps que le poids ou la résistance *r* parcourt le petit arc *rs* ou *rc*; donc le poids *p* a plus de vitesse que *r*.

Application des Leviers aux diverses machines.

Les leviers sont fréquemment employés dans les arts, dans les usages même les plus ordinaires de la société.

Levier du premier genre.

1° La barre de fer, ou *pince*, dont on se sert pour soulever de lourds fardeaux, est un levier de la première espèce : les artilleurs l'emploient pour manœuvrer leurs canons pendant la bataille. C'est encore un des instrumens du maçon, du constructeur de vaisseau, du roulier, du charpentier, du marbrier, du carrier, du paveur, etc.

2° Les ciseaux communs, les pincettes, les tenailles, les mouchettes, etc., ne sont que des leviers du premier genre, assemblés par paires. L'effort de la main ou des doigts qui prennent les deux branches, doit être regardé comme la puissance; le clou, ou ce qui tient le milieu, est un point fixe commun aux deux, et ce que l'on coupe ou ce que l'on serre n'est autre chose que la résistance. Aussi les ciseaux destinés à faire de grands efforts, comme sont ceux des chaudronniers, des ferblantiers, des jardiniers pour la taille des arbres, ont-ils les branches fort longues et les parties tranchantes assez courtes : par ce moyen, la puissance l'emporte facilement sur une résistance considérable.

3° Les moulins à eau ne sont qu'un assemblage de leviers de la première espèce : la puissance est représentée par l'eau qui tombe sur l'extrémité des rayons de la grande roue; le point d'appui est situé dans l'axe, c'est-à-dire, dans toute la ligne qui se trouve précisément au milieu du cylindre auquel ces rayons sont attachés; et ce qui sert de résistance, c'est la petite roue intérieure qui communique à la meule le mouvement qu'elle reçoit du cylindre.

Les moulins à vent tournent par les mêmes principes que les moulins à eau.

4° Tout le mécanisme d'un moulin à café dépend aussi d'un levier de la première espèce. La main fixée au manche de la manivelle sert de puissance; le café que l'on moud sert de poids, et l'axe du cylindre perpendiculaire auquel est attachée la noix, sert de point d'appui. Comme il est évident que la main est plus éloignée de l'axe du cylindre que ne le sont les grains de café, l'on comprend pourquoi on a aussi peu de peine à le moudre.

5° Le mât d'un navire peut encore être regardé comme un levier du premier genre. Le vent, dont l'action se déploie contre les voiles, est la puissance; la résistance est le navire lui-même, et le point d'appui devient le centre de flottaison qui soulève le vaisseau et se trouve conséquemment au-dessous du lest. On conçoit alors comment des voiles très-élevées tendent à faire pencher davantage le navire d'un côté, et pourquoi de telles voiles deviennent fort dangereuses sur des bateaux non pontés.

Levier du second genre.

On doit compter parmi les leviers du second genre, 1° les rames avec lesquelles on fait avancer un bateau : l'eau sert de point d'appui, puisqu'on applique contre elle une des extrémités de la rame; la main qui agit à l'autre extrémité est la puissance; et au milieu de la rame se trouve la résistance, c'est-à-dire le bateau que l'on presse pour accélérer sa marche.

2° Le couteau du boulanger, lorsqu'arrêté par un bout sur une table, et tournant autour d'un point fixe, il est porté par la main qui tient le manche contre la résistance qu'on doit vaincre.

3° Les soufflets de forges ou d'appartemens. Il est aisé de reconnaître la puissance qui fait jouer le panneau autour d'une charnière de cuivre adaptée à son extrémité; mais il faut un instant de réflexion, pour juger que la vraie résistance est cette masse d'air que contient la capacité du soufflet, et qui s'échappe plus ou moins vite par le bout du tuyau, à mesure qu'elle est comprimée.

4° La brouette commune. L'homme qui la pousse en la soulevant, diminue d'autant plus pour lui le poids total de la charge, que le centre de gravité de cette charge est plus rapproché de l'axe de la roue que de ses mains.

5° Une porte que l'on pousse en tenant d'une main la clef de la serrure. Il est vrai que les pentures roulent sur plusieurs gonds qui multiplient les centres de mouvemens, et que la résistance ou le poids de la porte n'est pas concentré en un seul point; mais on peut toujours raisonner comme s'il n'y avait qu'un seul point d'appui situé à l'extrémité de la ligne horizontale qui divise la porte en deux parties égales, et comme si toute la masse du corps était réunie au milieu de cette ligne. La puissance ne fait aucun effort pour mouvoir la résistance, parce que la porte est à peu près en équilibre avec elle-même. On n'a à vaincre, en la poussant, que son inertie, la résistance des frottemens et celle de l'air.

Levier du troisième genre.

1° Une échelle appliquée contre un mur est un levier du troisième genre : le mur doit être regardé comme la puissance qui la soutient, le poids de l'homme qui monte le long de l'échelle est la résistance, et l'extrémité de l'échelle qui repose sur le terrain est le point d'appui; car si le mur venait à fléchir, le poids de l'échelle et le poids de l'homme réunis feraient tourner l'échelle autour de cette extrémité.

2° Les pinces communes qu'on nomme *badines*, sont de semblables leviers. Elles sont destinées à transporter de petits charbons qui sont la résistance. La main qui les fait agir est la puissance; et le point d'appui se trouve à l'endroit où se joignent les deux leviers qui les composent.

Principe général d'Équilibre.

184. Si, à l'aide d'un levier ou d'une machine quelconque, on fait agir en opposition deux poids dont l'un remplisse la fonction de puissance et l'autre celle de résistance, ils seront en équilibre

lorsque leurs masses seront en raison inverse de leurs distances au point d'appui.

L'équilibre ne peut résulter que de l'égalité de deux forces qui se combattent, les forces se composant des masses multipliées par les vitesses (155); d'où il suit que l'équilibre existe dans une machine toutes les fois que les masses de deux corps qui agissent l'un sur l'autre sont en raison réciproque des vitesses qu'ils prendraient, si l'équilibre était rompu pendant un instant infiniment petit.

Application au levier.

Supposons que l'on fixe au levier *rap* (fig. 38), un poids *r* de 4 kilogrammes et un poids *p* de 2 kilogrammes, en plaçant le poids *r* à 2 mètres et le poids *p* à 4 mètres du point d'appui *a*; ces deux poids auront évidemment leurs masses en raison inverse de leurs distances au point d'appui, et ils seront en équilibre.

En effet, le poids *r* ayant une masse = 4 et une vitesse = 2, sa force est exprimée par 8; de même le poids *p*, dont la masse = 2 et la vitesse 4, a aussi 8 de force. Ces deux poids ont donc des forces égales; d'où il suit qu'ils sont en équilibre.

Mais, les masses des poids employés sont en raison inverses de leurs distances au point d'appui; par conséquent le principe énoncé est applicable au levier.

Des effets que produisent les différens Leviers.

185. 1° Le levier du premier genre peut également favoriser la puissance ou la résistance; parce que les bras étant supposés inégaux, la puissance ou la résistance peuvent également être placées à l'extrémité du plus long de ces bras.

2° Le levier du second genre est exclusivement à l'avantage de la puissance qui est plus éloignée du point d'appui que la résistance.

3° Le levier du troisième genre favorise toujours la résistance qui s'y trouve à une plus grande distance du point d'appui.

186. De ce qui précède on tire encore ces conséquences :

1° Qu'une très-petite puissance peut, au moyen d'un levier assez long, l'emporter sur une résistance fort considérable;

2° Que si le levier horizontal chargé d'un poids doit être soutenu par deux puissances inégales situées à ses extrémités, le poids peut toujours être placé de manière que chacune des puissances en soutienne une partie proportionnelle à sa force.

Ce dernier principe trouve souvent son application dans les arts, lorsqu'il s'agit de transporter ou placer des masses pesantes.

Considération du poids du Levier.

187. Le poids du levier, dont on a toujours fait abstraction, doit fixer l'attention du physicien qui veut prouver par expérience la

loi générale d'équilibre; car la longueur d'un bras de levier étant double ou triple de celle de l'autre, son poids est double ou triple; et cet excès de poids tournerait à l'avantage de la puissance ou de la résistance, si l'on ne prenait la précaution, avant de faire l'expérience, de mettre le levier en équilibre avec lui-même.

Du Levier courbe.

188. Le *levier courbe* est celui dont les deux bras font un angle au point d'appui (fig. 32).

189. Cette espèce de levier a les mêmes propriétés que le levier droit.

Car, lorsqu'en tournant, les deux bras du levier angulaire se trouvent obliques aux directions de la puissance et de la résistance, cette obliquité est égale de part et d'autre; ce qui fait que le rapport des distances du point d'appui aux directions perpendiculaires n'est pas troublé.

Son usage.

Les leviers courbes s'emploient avec avantage pour les pompes, pour les mouvemens des sonnettes, et généralement dans toutes les circonstances où l'action du moteur ne peut être transmise directement.

LEÇON XIIe.

SUITE DES MACHINES.

Balance. — Méthode des doubles pesées. — De la Romaine. — De la Poulie. — Des Moufles. — Du Tour. — Application à l'horlogerie. — Usage du Tour dans les arts et métiers.

De la Balance ordinaire.

190. La *balance ordinaire*, appelée simplement *balance*, sert à mettre en équilibre deux quantités égales de matière; de sorte que connaissant le poids de l'une, on sait combien pèse l'autre.

191. Cet instrument se compose d'un fléau *ab* (fig. 42), dont la longueur est partagée en deux parties égales par un axe *c*; de deux bassins ou plateaux F et G suspendus aux extrémités des bras du fléau; d'une chape *cd* qui sert d'appui à l'axe, où est le centre du mouvement; enfin une aiguille *ea*, adaptée au-dessus de l'axe entre les montans de la chape et perpendiculairement au fléau, indique

les mouvemens des bassins quand elle s'incline à droite ou à gauche, et l'équilibre, dans le cas d'une position fixe suivant la direction de la chape qui est toujours verticale.

Un peu d'attention suffit pour reconnaître que la balance n'est qu'un levier du premier genre, partagé en deux bras égaux par son appui, et chargé des efforts d'une puissance et d'une résistance qui résident dans les bassins, dont les directions sont toujours parallèles entre elles, et conséquemment dont les distances au point d'appui sont constamment égales quelle que soit la situation du fléau par rapport à l'horizon.

192. Pour que la balance soit *juste*, c'est-à-dire pour qu'elle n'établisse l'équilibre qu'entre des corps égaux en masse, il faut que les deux bras aient la même longueur, la même direction, qu'ils soient uniformément pesans, et que les deux plateaux et les cordes ou chaînettes qui les supportent aient le même poids. Quand ces conditions ont lieu, le poids de la machine est détruit par le point fixe.

S'il est difficile d'atteindre rigoureusement cette perfection, on peut toutefois en approcher jusqu'à ce que l'erreur devienne assez petite, par rapport aux corps que l'on pèse, pour qu'on puisse la négliger.

193. Une balance bien faite devant être très-mobile, il faut, dans sa construction, diminuer autant qu'il est possible le frottement, et conséquemment la pression au point d'appui. C'est pourquoi on fait très-léger le fléau des balances d'essai, où l'on a besoin d'une grande précision. C'est encore pour diminuer le frottement de l'axe qu'on donne à sa partie inférieure la forme de couteau. Cette pratique est bonne, mais elle exige que l'endroit du trou sur lequel l'axe porte soit comme lui fort dur, précaution sans laquelle il le creuserait avec le temps, ou il s'écraserait sur lui-même; ce qui nuirait à la mobilité de la balance.

Il faut aussi que le fléau soit suffisamment trempé, afin que la longueur de ses bras reste toujours la même dans le service de l'instrument; car s'il cédait sous l'effort du poids dont il est chargé, l'un des bras de la balance, ou les deux venant à fléchir inégalement sous le fardeau, l'un des poids se trouverait plus éloigné que l'autre du point d'appui, et conséquemment l'équilibre qu'on établirait, n'indiquerait point l'égalité des masses.

Remarque. Il peut se faire qu'une balance, quoique fausse, paraisse bien construite, en se tenant en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale; et cela dans le cas où l'un de ses deux bras serait plus court, mais aussi pesant que l'autre. Pour reconnaître si elle a ce défaut, il suffit de charger les plateaux de manière qu'il y ait équilibre, et de changer ensuite les masses d'un plateau dans l'autre : après ce changement, l'épuilibre n'existera

plus, si la balance est mauvaise. Car, dans le premier cas, l'équilibre résultait de ce que le bras le plus court était chargé d'une plus grande masse; et quand cette plus grande masse sera passée du côté du bras le plus long, elle emportera sûrement l'autre qui est moindre et qui agit au moyen d'un levier plus court.

Méthode des doubles pesées.

194. Lorsqu'on a besoin d'un grand degré de précision dans les pesées, on cherche les poids des corps par le procédé suivant, qui suppose seulement que la balance soit *très-mobile* sur son point d'appui.

Après avoir mis dans l'un des bassins *b* (fig. 43) des matières qui fassent équilibre au corps placé dans l'autre bassin *a*, on ôte le corps, et on met à sa place des poids connus, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Il est clair que la somme de ces poids représente celui du corps, puisqu'elle fait équilibre à la même masse, dans les mêmes circonstances. C'est ce procédé, dû à Borda, qui a reçu la dénomination de *méthode des doubles pesées.*

Quand on a déterminé les poids de plusieurs corps, on peut facilement trouver les rapports de leurs masses; car, comme on le verra plus loin, *les masses des corps sont proportionnelles à leurs poids.*

De la Romaine.

195. La *Romaine* ou *peson* est une autre espèce de balance dont les bras sont inégaux (fig. 44): l'axe et la chape qui la soutient sont placés à une très-petite distance de l'extrémité du bras auquel on suspend le fardeau dont on veut connaître le poids; l'autre bras, qui est beaucoup plus long, est divisé en plusieurs parties égales. Ces divisions servent à déterminer l'effort respectif d'un petit poids qu'on fait mouvoir sur la longueur de ce bras.

La romaine n'est visiblement qu'un levier du premier genre, dans lequel le point d'appui est beaucoup plus proche de l'une des extrémités que de l'autre; d'où il résulte qu'un fort petit poids peut faire équilibre à une masse considérable, en éloignant à proportion le petit poids du point d'appui.

Usage de la Romaine.

La romaine est d'un usage commode et a plusieurs avantages sur la balance ordinaire. D'abord on peut avec elle peser différentes masses au moyen d'un seul poids, tandis qu'en se servant de la balance commune, il faut autant de poids divers qu'on a de masses différentes à peser. D'un autre côté, on fait avec la romaine des pesées plus

exactes, lorsqu'il s'agit de gros fardeaux; car les frottemens dans cette machine augmentent en raison des charges : d'où il suit que si on emploie une balance ordinaire pour peser de lourds fardeaux, son axe étant chargé et du poids du fardeau et de son contre-poids, elle en deviendra proportionnellement moins mobile.

Par exemple, si l'on met dans un des bassins d'une balance ordinaire un poids de 100 kilogrammes, il faut, pour établir l'équilibre charger l'autre bassin d'un ballot de 100 kilogrammes, et conséquemment l'axe se trouve chargé d'un poids de 200 kilogrammes. Il n'en est pas ainsi lorsqu'on emploie la romaine : un ballot de 100 kilogrammes suspendu à l'extrémité du bras le plus court, fait équilibre avec un poids de 1 kilogramme placé à une distance du point d'appui 100 fois plus grande; et dans cette supposition, l'axe de la romaine ne se trouve soutenir que 101 kilogrammes.

Remarque. Il est bon de faire observer que la romaine ne peut donner exactement le poids de petits volumes, parce qu'elle n'est pas assez mobile, défaut qui provient surtout de ce que l'un de ses bras est fort court.

Cependant les Chinois en ont étendu l'usage à la pesée des plus petits objets, en modifiant sa construction de manière à rendre l'instrument extrêmement sensible. Voici en quoi consiste cette romaine assez curieuse : Elle se compose d'une réglette en bois d'environ six pouces de longueur, percée en un de ses points d'un trou traversé par un fil de soie qui porte un nœud au-dessous de la réglette; ce nœud lui sert de point d'appui : on attache au bras le plus court un bassin qui reçoit les objets à peser, et le long de l'autre branche se meut un poids léger dont les distances diverses à la suspension sont notées comme dans nos romaines ordinaires.

De la Poulie.

196. La *Poulie* est une roue circulaire de bois ou de métal, creusée en gorge à sa circonférence, et mobile sur un axe qui est soutenu par une chape (fig. 45).

197. On considère deux sortes de poulies, *la poulie fixe* et *la poulie mobile :* la première ne peut tourner que sur son axe, la chape étant arrêtée invariablement; la seconde au contraire se meut en même temps dans l'espace et autour de son axe.

De la Poulie fixe.

198. Supposons qu'une corde flexible *abcd* (fig. 45), soit passée dans la gorge de la poulie et embrasse une partie de sa circonférence; appliquons à l'extrémité *a* la puissance, et la résistance à l'extrémité *d*. Les forces agiront suivant les tangentes, et il est visible que

l'équilibre ne pourra être établi que dans le cas de l'égalité de la puissance et de la résistance. La résultante des deux forces passe par le centre de la poulie et se trouve détruite par la résistance de l'axe. De plus, si les forces sont parallèles, cet axe supporte un effort égal à leur somme.

Cette poulie offre le moyen de changer la direction d'une force sans en altérer l'intensité.

De la Poulie mobile.

199. Dans la poulie mobile (fig. 46), la corde est attachée par une extrémité à un obstacle invincible F; à l'autre extrémité est appliquée la puissance P; enfin le poids à soulever est suspendu à l'extrémité H de la chape. Le point F supporte une pression égale à la force P, appliquée à l'autre extrémité. L'équilibre sera établi si la résistance est égale à la résultante de deux forces égales à P. Si les deux forces sont parallèles, $R = 2P$; c'est le cas le plus favorable à la puissance.

Des Moufles.

200. On appelle *Moufle* un assemblage de plusieurs poulies dont les unes sont fixes et les autres mobiles. La figure 47[e] représente la combinaison la plus avantageuse à la puissance. Toutes les poulies, à l'exception de la poulie A, où est appliquée la puissance, sont libres.

Souvent on donne une disposition différente (fig. 48); et généralement, la forme des moufles dépend de l'usage auquel on les destine.

Le calcul montre que, pour l'équilibre, dans le cas de la première disposition (fig. 47), la puissance doit être égale à la résistance divisée par 2^n, l'exposant n indiquant le nombre des poulies mobiles; de sorte qu'avec une force P, on fait équilibre à une résistance R exprimée par $2^3.P$, ou $8P$, puisque $n = 3$.

Dans la figure 48, les 3 poulies supérieures sont fixes, les 3 inférieures sont mobiles, on a $P = \frac{R}{2n} = \frac{R}{6}$.

Usages des poulies et des avantages qu'on pourrait en tirer dans certaines circonstances.

L'usage principal des poulies est d'élever de très-grands poids, des masses énormes, des fardeaux considérables, au moyen d'une force la plus petite possible.

Les poulies fixes servent particulièrement à changer la direction d'une force sans en altérer l'intensité, avantage précieux dans différens cas.

Par exemple, supposons que plusieurs hommes veuillent élever à une grande hauteur une masse m (fig. 45 *bis*), fixée à l'extrémité a d'une corde acb, en tirant cette corde de haut en bas par l'autre extrémité b. Si la corde vient

à se rompre, les ouvriers qui se trouveront sous la masse seront dans un danger éminent. Mais si, par le moyen d'une seconde poulie fixe R*, on change la direction verticale en horizontale *bh*, et que les travailleurs tirent en *h*, ce qui ne diminuera pas leur force, alors ils n'auront plus rien à craindre de la rupture de la corde.

Un second avantage qui résulte du système de ces deux poulies fixes, est celui-ci : Que si une puissance a plus de force dans une direction que dans une autre, elle peut agir dans le sens de celle qui lui est le plus favorable.

Ainsi, dans la construction des édifices élevés qui exigent souvent que l'on transporte en quelques minutes des matériaux très-pesans à une hauteur considérable, on a ordinairement recours à ce système : on attèle un cheval à l'extrémité *h* de la corde (on suppose la poulie R fixée à une hauteur convenable du sol par rapport au cheval), puis on le fait marcher devant lui sur un terrain de niveau; son action se transmet à la charge *m* qui s'élève comme si le cheval eût pu transporter le poids avec la même vitesse en grimpant le long d'un mur vertical.

Au moyen de ces mêmes poulies, le matelot peut, sans quitter le pont de son navire, hisser une voile ou un signal à l'extrémité du grand mât.

Quoique la poulie *fixe* ne présente aucun avantage mécanique, puisque la résistance se meut précisément comme la puissance, il est un cas cependant où elle peut paraître favoriser la puissance. C'est celui où l'un des bouts de la corde est attaché au corps d'un homme dont les mains saisissent l'autre bout (pour plus de sécurité ce dernier devrait aussi passer autour de son corps); il se supporte alors par l'action musculaire de ses bras, et parvient facilement à se soulever jusqu'à la hauteur où la poulie est fixée : de sorte qu'il peut ainsi se laisser descendre au fond d'un puits ou du sommet d'un roc, avec la certitude de remonter sans l'assistance de qui que ce soit.

Une machine aussi simple serait, dans bien des circonstances, d'une utilité inappréciable. Avec quelle facilité, par exemple, on parviendrait à descendre ainsi de certaines parties de bâtimens incendiés, où il est quelquefois impossible d'appliquer des échelles. — Une poulie semblable serait encore fort commode pour prendre des bains de mer, sans l'assistance de personne, lorsqu'on est à bord d'un navire; on la fixerait alors à une des fenêtres de la poupe.

Remarque. Lorsqu'on fait usage de la poulie ou des moufles, il est nécessaire d'avoir égard au poids des cordes, à leur roideur et au frottement que les différentes parties de la machine exercent les unes sur les autres.

Du Tour.

201. Le *Tour* est, en général, un corps solide de figure quelconque, qui n'a que la liberté de tourner sur un axe fixe.

202. Dans les arts, on nomme *tour* ou *treuil*, un cylindre aux bases duquel on adapte ordinairement deux autres plus petits cylindres de même axe, qui prennent la dénomination de

---

* La poulie R est, dans ce cas, appelée *poulie de renvoi*, parce qu'elle sert à faire agir la puissance dans un sens différent à celui de la résistance.

Tourillons; ces derniers reposent sur deux appuis invariables F et H (fig. 49), et le grand cylindre en tournant sur ses tourillons est absolument dans le même cas que s'il se mouvait autour de son axe considéré comme une ligne fixe.

La résistance que l'on se propose de vaincre, ou le poids Q que l'on veut élever, est appliquée à une corde qui s'enroule autour du cylindre, tandis qu'une puissance P le fait tourner, soit en agissant par une corde CP tangentiellement à une roue CB perpendiculaire à l'axe de ce cylindre, et solidement liée avec lui; soit en agissant à l'extrémité d'une barre qui traverse le cylindre à angle droit, soit au moyen d'une manivelle, etc.

203. Le tour prend différens noms suivant l'objet auquel on le destine, et selon sa position. Ordinairement on l'appelle *tour* ou *treuil*, quand l'axe du cylindre est horizontal, et *cabestan* (fig. 49bis), s'il est vertical et qu'on se serve de barres pour y appliquer la puissance. Mais, quels que soient l'objet et la position de cette machine, et la manière dont on lui communique le mouvement, les conditions de l'équilibre y sont toujours les mêmes; car, on démontre en Statique, que *pour l'équilibre du tour, il faut que la puissance soit à la résistance, comme le rayon du cylindre est au rayon de la roue*.*

204. D'après ce principe, il est visible que la construction du tour est d'autant plus favorable à la puissance, que le diamètre du cylindre est plus petit, et que le diamètre de la roue est plus grand.

205. Si une puissance qui agit au moyen de cette machine, perd à chaque instant une partie de ses forces, tandis que la résistance qu'elle doit vaincre reste constamment la même, il faut que le tour auquel cette puissance est appliquée, soit fait de manière que sa roue ait un diamètre très-petit au commencement de l'action, et que ce diamètre augmente toujours dans le même rapport que les forces de la puissance diminuent.

Application à l'horlogerie.

L'horloger met à profit l'observation précédente dans la construction des montres, dont le premier moteur est un ressort enveloppé sur lui-même, et renfermé dans un barillet. L'action de ce ressort diminue à mesure qu'il se détend, tandis que la résistance des roues dans la montre reste constamment la même. C'est pourquoi on fait une fusée de figure conique BFE

---

* Il est utile d'observer qu'il faut ajouter le diamètre de la corde au diamètre du cylindre, et qu'il serait nécessaire de faire la même addition à celui de la roue, si la puissance s'y trouvait fixée par une corde.

(fig. 50), qui tourne autour de l'axe BA; au point E est une roue dentée qui communique le mouvement à tout le rouage. La fusée est enveloppée d'une chaîne, de manière que l'action du ressort S qui vient d'être tendu est la plus grande possible. La chaîne tire alors à la partie supérieure de la fusée, et conséquemment à une fort petite distance du point d'appui. A mesure que le ressort se détend et que son action diminue, la chaîne descend vers la partie inférieure de la fusée, et agit à une distance du point d'appui, qui augmente progressivement dans le même rapport que l'action du ressort devient moindre.

On emploie quelquefois une fusée du même genre au lieu d'un cylindre, pour élever l'eau des puits dont la profondeur est considérable : lorsque le seau est au fond, celui qui tourne la manivelle a une grande résistance à vaincre, à cause du poids de la corde qui s'ajoute à celui du seau et du liquide; il y a donc avantage pour lui à ce que cette corde s'enroule d'abord sur un petit diamètre, comparativement à celui du cercle qu'il décrit; puis, comme la longueur de la corde diminue à mesure que le seau s'élève, il lui est permis alors d'employer un diamètre plus grand; il n'y a plus d'inconvénient à ce que la corde s'enroule sur le gros bout de la fusée.

Usage du Tour dans les arts et métiers.

En substituant à la roue un tambour creux, on construit des tours, dans l'intérieur desquels on fait marcher des hommes ou des animaux, qui, par leur propre poids sur le tambour, font lever le fardeau qui est suspendu au cylindre ou essieu.

Pour concevoir comment, dans cette machine, la puissance agit sur la résistance, soit le tambour AFB (fig. 51) dans lequel on enferme un homme, ou un animal quelconque, qui fait effort pour s'avancer vers H, K, S, B. Lorsqu'il est arrivé au point H, sa ligne de direction est HE; il agit donc comme s'il était suspendu au point E : sa distance au point d'appui est donc CE = CD, et conséquemment l'action de l'animal doit égaler le poids P, lorsque l'animal est au point H. S'il s'avance jusqu'au point K, la ligne de direction devient IK; la distance au point d'appui est IC; donc au point K, l'action de l'animal est au poids P comme CD est à CI. S'il va en S, la ligne de direction devient QS, la distance de la puissance au point d'appui QC, et l'action de l'animal se trouvent en rapport avec le poids P comme CD est à CQ. D'où il résulte qu'à mesure que l'animal monte dans le tambour, sa force relative augmente, parce que sa pesanteur étant la même, sa distance au point d'appui croît de plus en plus. Il est visible que le *maximum* de l'effet qu'il pourrait produire serait au point B, s'il pouvait y monter, parce qu'il est de tous ceux du tambour le plus éloigné du point d'appui.

Remarque. De toutes les différentes formes qu'on donne au tour, celle du *cabestan* est la plus avantageuse; car, 1° la puissance peut toujours agir perpendiculairement à son bras de levier; 2° rien n'empêche d'y appliquer un grand nombre d'hommes à la fois. Aussi est-il fréquemment employé sous cette forme dans les vaisseaux, pour lever les ancres, hisser les voiles, etc.

LEÇON XIIIe.

SUITE DES MACHINES.

Du Plan incliné. Son usage. Application à la marche de l'homme. Applications diverses. — De la Vis. Son emploi dans les arts et métiers. — Du Coin. — Des usages et diverses applications du coin. — De quelques machines composées. — De la Grue et de son usage. — De la Chèvre. — Du Cric. — Loi d'équilibre dans les machines composées. — Observations générales sur l'emploi des machines. — Du frottement dans les machines. Application à la conduite des voitures, aux arts et aux métiers. — Remarque sur la roideur des cordes.

Du Plan incliné.

206. On nomme *plan incliné* celui qui fait avec un plan horizontal un angle non droit.

207. On ne peut soutenir un corps pesant, s'il est libre, qu'avec une force égale à son poids : une force moindre le soutiendra sur le plan incliné.

Soit un corps R (fig. 52), placé sur le plan incliné AC, où il est maintenu par la puissance P, dont la direction PR est parallèle à AC : la *puissance* P sera à la *résistance* R, dans le cas d'équilibre, *comme la hauteur* BC *du plan incliné est à sa longueur* AC.

Tel est, suivant les principes de Statique, le rapport qui doit exister entre la puissance appliquée dans la direction PR et le poids du corps, pour que celui-ci ne puisse pas glisser le long du plan.

Aussi, à l'aide d'un plan incliné, il est possible de faire mouvoir un poids considérable avec un force qui l'est beaucoup moins.

Usage du Plan incliné.

Le plan incliné est souvent employé dans les arts pour monter et descendre les fardeaux. Lorsqu'on en fait usage pour élever les corps, on doit remarquer que la puissance agit d'autant plus efficacement que sa direction approche davantage d'être parallèle à la surface de ce plan.

Application à la marche de l'homme.

On conçoit aisément que, plus la hauteur d'un plan incliné sera petite, par rapport à sa longueur, plus elle favorisera la puissance.

D'apès cela, un homme qui gravit une montagne se meut sur un plan incliné : le poids de son corps est ici la résistance ; l'action vitale qu'il emploie pour le soutenir, ou pour le faire mouvoir, est la puissance ; ne

soyons donc pas surpris qu'il consume, à chaque instant, d'autant plus de force, et qu'il éprouve conséquemment d'autant plus de fatigue, que la montagne a plus de hauteur relativement à sa longueur.

Applications diverses.

1° Un cheval qui traîne un chariot sur une route qui s'élève d'un pied, sur une longueur de vingt, soulève effectivement un vingtième de la charge, tout en surmontant les frottemens et l'inertie du chariot *.

Cela suffit pour montrer de quelle importance il peut être de faire les routes de niveau, et quelle erreur on commettait autrefois en donnant partout aux routes une direction rectiligne, qu'elles eussent à traverser des plaines unies ou qu'elles dussent s'élever par-dessus des collines, tandis que le plus souvent, on aurait pu, en n'augmentant que très-peu la distance à parcourir pour arriver au même point, éviter toute montée et toute descente. On conçoit aussi sans doute l'avantage des routes en zig-zag, pour arriver d'un point inférieur à un point supérieur; car les chevaux tirent avec d'autant plus de facilité que l'inclinaison de la route avec l'horizon est moindre, et cette inclinaison diminue avec la longueur de la route.

L'application de cette règle a sans doute été souvent remarquée par les voyageurs : combien de routes aussi sûres que commodes conduisent à des forts ou à des habitations situées au sommet de montagnes très-élevées?

Les charretiers intelligens n'ignorent point ce rapport entre la longueur du plan ou de la route et son inclinaison; aussi les voit-on toujours monter en zig-zag les pentes un peu roides, allant d'abord de droite à gauche, puis de gauche à droite, et ainsi de suite jusqu'au sommet.

2° Les routes à ornières en fer, de nos jours, offrent également une application intéressante du plan incliné. Lorsqu'elles sont parfaitement de niveau, le cheval ou le moteur, quel qu'il soit, n'a autre chose à vaincre que le frottement; mais lorsque le transport des objets doit toujours se faire dans la même direction, comme pour les minerais, par exemple, on donne à la route une légère pente, de sorte que le moteur n'a plus qu'à régler le mouvement.

3° On voit souvent les avantages du plan incliné quand on charge ou décharge les chariots de roulage : deux hommes, à l'aide de cette machine, manœuvrent facilement des masses que vingt hommes ne pourraient peut-être point mouvoir au moyen de leur force musculaire. Dans quelques canaux, on a remplacé les écluses par des plans inclinés le long desquels on élève les bateaux tout chargés, à l'aide de machines puissantes.

4° On a supposé que c'était au moyen du plan incliné que les anciens (les Égyptiens en particulier), avaient élevé ces immenses constructions que le temps semble devoir à jamais respecter. Nos architectes en font maintenant usage pour transporter les matériaux destinés à construire les étages supérieurs des bâtimens, quand l'emplacement le leur permet.

---

* Le poids est à la force, comme la longueur du plan incliné est à sa hauteur. Et, le poids est à la pression, comme la hauteur est à la base (la ligne BA, fig. 52).

3°. Nos escaliers ne sont, en principe, que des plans inclinés, mais dont l'inclinaison eût été si forte qu'il a fallu, afin de pouvoir s'y soutenir, y disposer des surfaces horizontales et perpendiculaires qui forment les marches.

Ceci est encore tiré en partie de l'excellent ouvrage du docteur Neil-Arnott, déjà cité.

De la Vis.

208. La vis est un cylindre droit CD (fig. 53), revêtu d'un filet saillant, adhérent et roulé sur la surface du cylindre, de manière que l'intervalle AB qui se trouve entre deux révolutions consécutives du filet, est partout le même. Cet intervalle constant se nomme le *pas* de la vis.

La vis est assujétie à entrer dans une pièce MN, connue sous le nom d'*écrou*, dans l'intérieur duquel on pratique une rainure tout-à-fait semblable au filet HKL de la vis, lequel doit la remplir exactement, quand la vis est introduite dans l'écrou.

209. Tantôt la vis est fixe tandis que l'écrou est mobile, comme le représente la figure 53; tantôt la vis est mobile et l'écrou dans une position invariable, c'est le cas de la figure 54.

La puissance agit à l'extrémité d'un levier EF : elle a d'autant plus d'avantage que ce bras de levier, auquel elle est appliquée, a plus de longueur et que le pas de la vis est plus fin; en général, *la puissance* est à *la résistance*, comme *le pas de la vis* est à *la circonférence du cercle que décrit la puissance à son point d'application*.

Usage de la Vis dans les arts et métiers.

La vis est d'un usage continuel dans les arts et métiers, où on l'emploie pour fixer et joindre les corps solides.

Souvent elle sert à exercer de grandes pressions. A cet effet, elle entre dans la composition d'une multitude de presses, destinées à exprimer l'huile ou le suc des végétaux, des amandes, des pommes, du raisin, de la canne à sucre, etc.

On l'emploie encore pour réduire des volumes considérables et dès lors fort embarrassans; les balles de coton, par exemple, dont quelques-unes, à l'état ordinaire, rempliraient un vaisseau, sont comprimées, au moyen de vis, en des masses compactes, dont la densité devient plus grande que celle de l'eau.

On retrouve la vis dans les presses à imprimer, où elle comprime avec force le papier contre les caractères; dans celles du lithographe, etc. Enfin, c'est le grand agent des établissemens où l'on frappe la monnaie.

On fait des vis qui présentent cent filets consécutifs dans la longueur d'un pouce, et à des distances parfaitement égales; c'est au moyen de vis semblables que le constructeur d'instrumens de mathématiques divise les cercles qu'on emploie dans l'Astronomie et la Géodésie, avec une précision extraordinaire.

La vis est encore la principale pièce de ces instrumens appelés *micromètres*, au moyen desquels on détermine le volume des corps célestes, ainsi que celui des objets microscopiques.

Dans les constructions, elle peut être utile pour élever des masses considérables : on s'en est servi à Nancy, pour placer sur son piédestal la statue en bronze de Stanislas-le-Bienfaisant, Roi de Pologne et Duc de Lorraine, qui fut inaugurée le 6 novembre 1831.

La tête de la vis mobile est toujours armée d'un levier, à l'extrémité duquel on applique la puissance. Tel est l'étau d'un serrurier, dont la vis se meut et tourne dans son écrou par le moyen d'une cheville de fer qui traverse la tête de la vis. Dans les machines de ce genre, où le levier n'est pas apparent, on fait la tête de la vis toujours plus grosse que le cylindre sur lequel elle est creusée, et cet excès de grosseur forme une espèce de levier auquel on fixe la puissance.

Le tire-bouchon ordinaire est une vis sans cylindre; on l'emploie pour pénétrer dans le liége et s'y fixer, mais non pour lier des forces opposées.

REMARQUE. Si l'on suppose que la roue d'un treuil soit dentée, et que ses dents engrènent avec les filets d'une vis qu'une puissance fait tourner au moyen d'une manivelle, on aura une idée de la *vis sans fin*.

Du Coin.

210. Le *Coin* a ordinairement la forme d'un prisme triangulaire (fig. 55): une des arêtes EF lui sert de ***tranchant***, la face ABCD opposée à cette arête se nomme la ***base*** ou la ***tête*** du coin, et les deux faces ADEF, BCEF, à droite et à gauche du tranchant, en sont les ***côtés***.

211. On distingue deux sortes de Coins, le ***simple*** et le ***double***.

Le ***coin simple*** est représenté par le prisme triangulaire rectangle ABC*cba* (fig. 56), qui a pour profil le triangle rectangle ABC; le plus grand des deux côtés AB est la hauteur du coin, le plus petit BC la largeur de sa base, et l'hypothénuse AC sa longueur.

Le ***coin double*** ADC*cda* (fig. 57) est composé de deux prismes triangulaires rectangles ADE*eda*, AEC*cea*, joints ensemble suivant leur hauteur AE.

212. Les puissances qu'on emploie pour faire agir les coins sont la pression et la percussion. Ainsi, on coupe le pain, les fruits, etc., avec un couteau, en le pressant; on frappe sur le dos du coin avec un marteau pour le faire pénétrer entre les parties du corps qu'on veut séparer; on entaille et coupe le bois à coups de hache, etc.

213. On démontre en Statique que, pour qu'il y ait équilibre, il faut, dans le cas du coin simple, que la ***puissance***, appliquée perpendiculairement à la tête du coin, *soit à la résistance, comme la largeur* BC *de la base du coin est à sa hauteur* AB; et pour

le coin double, ce rapport doit être, *comme* la moitié *de la largeur DC de la base de l'instrument est à sa hauteur AE.*

214. Il résulte de ces principes d'équilibre, que le coin est d'autant plus favorable à la puissance que la tête qu'il présente est moins épaisse, toutes choses restant égales d'ailleurs.

Usages et diverses applications du coin.

On se sert du coin dans une foule d'arts et métiers, pour couper les corps ou pour les fendre; nos couteaux, nos ciseaux, nos sabres, nos haches, sont autant de coins employés à nos usages.

On regarde généralement comme des coins tous les instrumens tranchans et à pointes, tels sont les poignards, les épées, les bêches, les pelles, les pioches, les rabots, les tranchets, etc., parce que ces instrumens ont au moins deux plans inclinés l'un à l'autre, qui forment toujours entre eux un angle plus ou moins aigu. De plus, l'angle étant la partie essentielle du coin, il n'est pas nécessaire qu'il soit formé par le concours de deux plans seuls, il peut en avoir plus : ainsi, les clous qui ont quatre faces aboutissant à une même pointe, les épingles, les aiguilles, les poinçons, les broches, remplissent tous les fonctions de coins.

La *scie* n'est aussi qu'un *coin composé,* dont on fait usage pour diviser les bois, les métaux, les marbres, les pierres. La forme des *dents de la scie* varie suivant la nature et la dureté des diverses substances qu'on veut séparer : pour la pierre et le marbre, c'est une simple lame d'acier, sans dents artificiellement préparées, qu'on tire et pousse sur le bloc qu'il faut refendre.

On rapporte au coin composé les faucilles, les faux, les limes, les râpes. Les cardes doivent être considérées comme des espèces de limes ou de râpes, formées par des coins isolés, très-longs et parallèles.

Une foule d'autres instrumens employés dans les arts se rapportent encore aux coins de forme prismatique, conique ou pyramidale; et la nature a pourvu les animaux de coins variés et destinés à leur servir d'armes pour l'attaque et pour la défense : tels sont les dents, les cornes, les ongles, les griffes.

Un ingénieur de Londres, qui avait élevé une cheminée très-lourde et d'une grande hauteur, pour le service de ses fourneaux et de ses machines à vapeur, s'aperçut au bout de quelque temps qu'elle commençait à s'incliner, par l'effet de l'humidité des fondations; il parvint à lui rendre sa position verticale, en chassant des coins avec force à la base d'une de ses faces.

De quelques machines composées.

215. La *grue,* la *chèvre* et le *cric* sont trois machines trop fréquemment employées dans les arts et métiers pour n'en pas donner ici une idée.

De la Grue.

216. La *grue* est une machine (fig. 58), formée d'une potence qui tourne sur un axe vertical. Le bout supérieur de cette potence porte le rouet d'une poulie fixe; l'autre porte l'arbre d'un treuil, qu'on met en mouvement avec des barres ou des tambours. Cet instrument remplit un double office : celui de monter ou de descendre un fardeau, et celui de le poser sur la verticale correspondante à sa position primitive.

Son usage dans le déchargement des vaisseaux.

Lorsqu'il s'agit de décharger des navires, et de mettre à quai les marchandises qui composent leur cargaison, on établit des grues sur le bord des quais près desquels accostent les bâtimens; on fait tourner la potence de chaque grue jusqu'au point où le rouet fixé au bras supérieur de la potence, se trouve à l'aplomb du pont du navire qu'on veut décharger. On attache la marchandise au bout d'une corde qui passe sur la poulie fixe et vient s'enrouler sur le cylindre du treuil. Ensuite, on fait agir la puissance destinée à mouvoir ce treuil dans le sens nécessaire pour élever le fardeau. Quand le fardeau se trouve élevé à la hauteur convenable, on cesse de faire tourner le treuil; on fait, au contraire, tourner la potence sur son arbre, jusqu'au point où le fardeau qu'elle suspend arrive à l'aplomb du quai. Alors on fait céder la puissance à la résistance, et le ballot descend par l'effet de son poids jusqu'à ce qu'il vienne se poser immédiatement sur le quai, ou sur un chariot qu'on a conduit à l'aplomb du fardeau.

De la Chèvre.

217. La *chèvre* est composée de deux montans AB, AC (fig. 59), appelés *bras*, qui sont réunis en triangle par une traverse BC, et joints par le haut au moyen d'un boulon de fer à clavette. Entre ces deux bras est placé un arbre ou treuil DE, mobile sur son axe, dont les extrémités entrent dans les bras, ou s'appuient sur deux pièces parallèles posées verticalement. Un troisième montant AH, auquel on donne le nom de *bicoq* et qui peut s'ôter à volonté, s'adapte à la partie supérieure des deux bras par une cheville et sert à les soutenir. Enfin, au sommet A de la machine se trouve une poulie P, suspendue avec une clavette, et sur laquelle passe une corde KPN, qui d'une part K enveloppe le treuil DE, et de l'autre N est attachée au fardeau F à enlever.

Quand le lieu ou quelque autre cause ne permet pas de faire usage du bicoq, on le démonte et on y substitue un câble pour soutenir les bras un peu inclinés du côté du fardeau qu'on veut

élever ; le câble doit embrasser fortement l'extrémité supérieure A, en même temps qu'être fixé à quelque objet solide et capable de résister au poids du fardeau.

Usage de la Chèvre.

La chèvre est souvent employée par les maçons, les charpentiers, et généralement par tous les ouvriers qui ont des masses pesantes à élever, mais surtout dans les manœuvres de force de l'Artillerie.

Lorsqu'il s'agit d'élever un fardeau, on pose la chèvre de manière que l'objet se trouve entre les trois montans de la machine; le cordage passé dans le rouet fixe, sert par un bout à saisir le fardeau, l'autre bout vient s'enrouler sur l'arbre du treuil que l'on met en mouvement par le moyen de leviers amovibles.

Du Cric.

218. Le *cric* (fig. 60) se compose d'une barre de fer, dentée d'un côté, et mobile dans une châsse, où elle peut monter et descendre; les dents de la barre s'engrènent avec celles d'un pignon qu'on fait tourner sur son axe au moyen d'une manivelle. Les dents du pignon soulèvent la barre, et font, par conséquent, monter le poids placé sur la tête du cric.

Pour augmenter encore la force du cric, on fait engrener les dents du pignon avec celles d'une roue, et les dents du pignon de cette roue avec celles de la barre.

Usage du Cric.

Cette machine est fréquemment employée, parce qu'avec une petite force, on peut faire mouvoir, enlever et soutenir des masses très-considérables.

Beaucoup d'ouvriers, entre autres les maçons, les charpentiers, les charrons, les carrossiers, s'en servent dans une foule d'occasions. On voit tous les jours encore les rouliers et les cochers des diligences soutenir seuls leurs voitures, qui pèsent quelquefois plus de 10000 kilogrammes, à l'aide d'un cric composé, pour graisser leurs roues ou en changer.

Lois d'équilibre pour les machines composées.

219. Dans toute machine composée, on reconnaît pour principe que *le rapport de la puissance à la résistance avec laquelle elle est en équilibre, est formée de tous les rapports qui auraient lieu séparément dans chaque machine simple.*

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR L'EMPLOI DES MACHINES.

Dans une machine quelconque, quand la puissance égale la résistance, pour peu qu'on augmente l'intensité de la puissance, la résistance est

vaincue, si la machine n'éprouve aucun frottement. Lorsqu'il y a du frottement, c'est à la puissance à le surmonter. Il est considérable dans certaines machines, et particulièrement dans la vis : c'est par le frottement qu'elle reste dans sa situation et ne revient point par un mouvement rétrograde dans son premier état, quoiqu'elle y soit sollicitée, ou par la force élastique des corps pressés, ou par la pesanteur des poids élevés, lorsque la puissance cesse d'agir.

Il importe d'observer aussi que, plus la puissance gagne du côté de la force dans une machine quelconque, plus elle perd du côté du temps. Souvent on peut disposer du temps à volonté, tandis qu'on ne peut employer qu'une force limitée. Il arrive quelquefois qu'on a besoin de se procurer une grande vitesse, et on y parvient en appliquant la puissance à la plus petite distance du point d'appui. C'est cette possibilité d'augmenter suivant le besoin la masse ou la vitesse des corps à mouvoir, qui fait le principal avantage des machines.

D'après ce qui précède, on conçoit combien l'étude de la mécanique doit être utile, par les nombreuses et importantes applications qu'on en fait dans les arts, et même dans les usages les plus ordinaires de la vie.

Du frottement dans les Machines.

220. L'observation attentive des corps les plus polis de la nature a prouvé qu'il n'en existe aucun dont la surface ne présente un assemblage de petites éminences et de petites cavités : d'où il résulte que si l'on pose deux corps l'un sur l'autre pour les faire mouvoir, les parties saillantes du premier s'engrènent dans les cavités du second et mettent obstacle au mouvement. On appelle *frottement* cette espèce de résistance.

221. Le frottement se distingue, 1° en *frottement des corps glissans*, comme quand on fait glisser un livre sur une table ou tourner une vis dans son écrou; 2° en *frottement des corps roulans*, comme lorsqu'on fait rouler une boule sur un billard.

222. Le frottement des corps glissans cause le plus souvent la rupture de ces petites éminences qui forment l'inégalité des surfaces : de là vient que nos habits, nos meubles, nos bijoux, s'usent insensiblement et finissent par se détruire; que nos couteaux, nos haches, nos rasoirs, perdent bientôt le fil de leur tranchant; que le soc de la charrue s'émousse dans le sein de la terre qu'il déchire, que les pierres les plus dures s'altèrent sous le roulement continuel des torrens; enfin que le marbre qui décore nos temples s'amincit à la longue sous les baisers de la multitude.

223. Dans le frottement des corps roulans, les éminences de l'un, engagées dans les cavités de l'autre, se quittent à peu près

comme les dents de deux roues de montre se désengrènent quand elles sont en mouvement.

224. Tous les efforts qu'on a faits jusqu'ici pour estimer avec exactitude la valeur des frottemens afin d'établir une loi constante, ont été inutiles. Cependant les physiciens ont conclu de leurs nombreuses expériences, toutes choses étant supposées égales d'ailleurs,

1° Que le frottement des corps roulans est beaucoup moindre que celui des corps glissans;

2° Que le frottement augmente quand on fait croître la surface, ou la pression, ou la vitesse du corps frottant;

3° Qu'enfin le frottement diminue suivant le poli des surfaces en contact.

Application à la conduite des voitures.

Lorsqu'on craint qu'une voiture se précipite dans une descente trop rapide, on empêche les roues de tourner sur leur axe; alors les mêmes points de la circonférence glissent successivement sur différens points pris sur le terrain : c'est un frottement de la première espèce, qui résiste convenablement au mouvement de la voiture. Il n'en est pas ainsi quand chaque roue tourne sur son essieu : alors le frottement de sa circonférence est de la seconde espèce; et son mouvement, déjà très-libre, deviendrait nuisible, s'il se trouvait encore favorisé par une pente trop rapide.

Application aux arts et métiers.

Souvent on a besoin de diminuer la résistance que produit le frottement; dans ce cas, on enduit les surfaces de quelque matière grasse ou fluide.

Ainsi, on frotte de savon les bords d'une boîte dont le couvercle tient trop, les côtés d'un tiroir qu'on ne peut faire marcher que difficilement; on met de l'huile aux charnières pour en faciliter le jeu; on graisse le moyeu des roues en dedans. Ce sont autant de moyens par lesquels on remplit les inégalités les plus grossières des surfaces qui deviennent plus propres à glisser l'une sur l'autre. D'ailleurs, les molécules de ces matières interposées changent l'espèce du frottement; leur forme sphérique les fait rouler avec facilité entre les surfaces qui leur servent de véhicule commun, et changent par là le frottement des corps glissans en celui des corps roulans.

On diminue aussi le frottement, en polissant les surfaces des corps qui doivent frotter l'un contre l'autre, jusqu'à certaines limites, parce qu'un poli parfait permet aux surfaces de se rapprocher tellement qu'il s'établit entre elles une adhérence difficile à vaincre; ou bien, on les choisit, autant que possible, de nature différente : par exemple, on fait des axes d'acier qu'on place sur des supports en cuivre. Dans les machines de petites dimensions, dans les montres, l'axe d'acier joue souvent sur l'agate ou le diamant.

On parvient encore au même effet, en plaçant la masse à mouvoir sur des cylindres, ou des sphères; comme lorsqu'on transporte un arbre en le

tirant sur des rouleaux, ou comme lorsqu'on fixe des boulets à la partie circulaire inférieure de l'affût d'une pièce de canon. Dans l'un et l'autre cas, le frottement est à peine sensible, et la résistance ne vient que des obstacles par-dessus lesquels les rouleaux ont à passer.

Des avantages des voitures à roues sur les traîneaux.

Les *voitures à roues* ont trois avantages sur les traîneaux qu'elles ont remplacés :

1° Le frottement, au lieu de s'exercer entre un patin de fer et les pierres ou le terrain irrégulier de la route, est réduit à celui de l'essieu contre le moyeu, dont les surfaces sont polies, graissées, et s'adaptent bien l'une à l'autre.

2° Pendant que la voiture s'avance de 15 pieds, par exemple, pour une révolution entière de la roue, la partie frottante où l'essieu ne se meut que de quelques pouces contre la surface interne d'un moyeu poli et graissé.

3° La roue surmonte facilement un obstacle, en s'élevant au-dessus de lui, et faisant décrire à l'essieu une légère courbe : elle monte alors comme sur un plan incliné, et aide ensuite l'animal qui tire de l'avantage mécanique d'un tel plan.

On voit donc que la différence de vitesse du traîneau et de la voiture vient de ce que tandis que le premier *frotte* contre toutes les aspérités de la route, est arrêté par toutes les petites irrégularités, l'essieu de la seconde glisse doucement sur une surface unie, d'une quantité qui ne dépasse peut-être pas 30 mètres par chaque 1000 que parcourt la voiture en décrivant une ligne légèrement ondulée. L'expérience a démontré que la résistance que la voiture éprouve par l'effet du frottement, n'était que le *centième* de celle du traîneau.

Observations touchant les meilleures formes à donner aux roues et aux voitures.

1° Toute simple que paraisse une roue de voiture, c'est cependant un mécanisme encore plus ingénieux que commun, dont l'invention est fort remarquable, et qui présente quelques difficultés dans la construction, puisque malgré la haute antiquité de ces machines, on dispute encore aujourd'hui sur leur grandeur et sur leur forme.

Ainsi, par exemple, après avoir long-temps employé pour tous les cas possibles, la roue plate, l'expérience a appris que des rais plantés droits sur le moyeu, ne résistaient point suffisamment à la pression latérale de l'essieu quand la route était en dos d'âne, ou que la roue tombait dans des trous : de là vinrent les roues dites *écuées*, ou à rayons obliques au moyeu ; cette forme a sur l'autre ce grand avantage, que dans de telles situations, le rais incliné sur l'axe devient normal à la section courbe de la roue, et qu'il peut mieux supporter l'accroissement de poids qui tombe ainsi de son côté; la roue résiste aussi plus sûrement par sa forme concave, au choc latéral que reçoit le moyeu, et l'écartement de ces roues écuées laisse en outre plus d'espace pour le jeu de la caisse de la voiture.

2° L'application des ressorts aux voitures, qui peut passer pour une amélioration, n'a point seulement pour but de les rendre plus douces, de transporter plus mollement les voyageurs sur des routes raboteuses; car, outre ces avantages déjà assez appréciables, ces ressorts diminuent considérablement le tirage. Sans ressorts, la charge entière doit s'élever par-dessus les obstacles, entière aussi elle descend dans les creux, et la dépression coûte autant d'efforts que l'élévation, parce qu'il faut toujours, en définitive, remonter la voiture de toute la quantité dont elle est descendue; si la voiture, au contraire, est suspendue par des ressorts, les seules parties situées au-dessous de ces ressorts se meuvent suivant les irrégularités de la route, les parties supérieures conservant toujours leur mouvement progressif en vertu de l'inertie de la matière. De là résulte la supériorité des voitures les plus modernes munies de ce qu'on appelle *ressorts en dessous*, et qui protégent la voiture contre l'effet des chocs en séparant des roues et de l'essieu les parties supérieures. Lorsque la caisse seule se trouve suspendue sur des ressorts, les chevaux ont encore à traîner par-dessus toutes les irrégularités de la route un train pesant et massif, et les chocs qui résultent nécessairement de cette mauvaise disposition obligent le conducteur à donner aux roues et aux autres pièces une solidité bien plus grande.

Ces deux observations sont du docteur Neil-Arnott.

Remarque sur la raideur des cordes.

La raideur des cordes qu'on emploie dans le service des machines produisant un obstacle qui doit entrer dans l'estimation de la résistance, on a fait beaucoup d'expériences pour l'apprécier.

On a trouvé en dernier résultat que le tors qu'on donne aux fils ou aux cordons qui composent les cordes, est la principale cause de leur raideur et qu'il fait varier leur force tellement qu'une même corde de chanvre raccourcie, par le tors, du *tiers* ou du *quart* de sa longueur, peut suspendre un poids de 2100 ou de 2574 kilogrammes, et ce poids serait plus grand encore, si la corde n'était torse que de manière à ne s'accourcir que d'*un cinquième*.

Ceux qui surveillent les ateliers de corderie doivent profiter de ces résultats obtenus par de savans physiciens pour détruire la funeste habitude où l'on est de tordre les cordes au point de les raccourcir du *tiers* de leur longueur. Cette torsion trop considérable fait acquérir aux cordes une dureté et une beauté illusoires aux dépens de la fermeté et de la force.

LEÇON XIVe.

DE LA COMMUNICATION DU MOUVEMENT.

MOUVEMENT CURVILIGNE. FORCE CENTRIFUGE.

Comment se communique le mouvement. Il n'est jamais instantané ni dans les corps bruts, ni dans les corps animés. — Phénomènes qu'on observe dans la communication du mouvement. Application à la Marine. Effet que peut produire un mobile en vertu de sa quantité de mouvement acquise. Choc qu'éprouvent deux corps qui se rencontrent. — Du Mouvement curviligne. Sa direction appelée trajectoire. Application à l'Artillerie. — Ce qu'on entend par Force centrifuge. Effets remarquables de cette force, réalisés par des expériences. Quelques-unes de ses applications.

Communication du Mouvement.

225. La plupart des forces qui mettent les corps en mouvement, n'agissent d'une manière directe que sur un petit nombre des molécules qui composent les corps. Ainsi, quand on choque une bille de billard, on ne touche que quelques points de la surface; quand le vent pousse un vaisseau, il ne pousse que les voiles; et quand la poudre lance un boulet, les gaz qui se développent et qui donnent l'impulsion, ne touchent et ne pressent que son hémisphère inférieur. Cependant toutes les parties du corps se meuvent; aussi bien les parties sur lesquelles la force n'agit pas, que les parties qu'elle pousse directement. Il faut donc qu'il se fasse un partage du mouvement entre toutes les molécules, et un partage égal, afin qu'aucune ne prenne l'avance, et qu'aucune ne reste en retard; celles qui sont directement choquées poussent les voisines; celles-ci, les suivantes; et ainsi de proche en proche, jusqu'à ce qu'enfin toute la masse soit ébranlée, et que toutes les parties se meuvent d'un commun mouvement. Pour passer d'une molécule à l'autre, et pour se répandre dans toute la masse, le mouvement exige un certain temps qui n'est pas très-grand, mais qui n'est pas non plus infiniment court; la durée de cette diffusion du mouvement est analogue à la durée qui est nécessaire pour qu'un fluide se répande dans un vase et s'y mette de niveau : elle dépend de la masse et de la nature du corps; c'est pourquoi il n'y a jamais de mouvement qui soit absolument instantané. Ce principe s'étend à toute matière, même à celle qui entre dans la composition des corps organiques : dans l'animal le plus vif, le mouvement n'est pas aussi rapide que la pensée; il faut un certain temps pour

qu'il prenne son essor et sa vitesse. Un oiseau peut voir la flèche qui vient le frapper, mais la flèche est plus rapide que ses contractions musculaires; et n'eût-il qu'à tourner la tête pour éviter le coup, la tête est percée avant que le jeu des muscles ait produit son effet.

226. Il se présente, dans la communication du mouvement, des phénomènes singuliers qui dépendent de l'état d'agrégation des corps et de la rapidité avec laquelle le mouvement peut se transmettre de molécule en molécule dans l'intérieur d'une même masse. On sait, par exemple, qu'une balle traverse un carreau de vitre sans le rompre, et qu'elle y fait seulement un trou, comme ferait un emporte-pièce dans une feuille de métal. Cet effet ne dépend que de la vitesse de la balle, et non pas de sa forme; car si on la jette avec la main, elle casse le carreau comme le casserait une pierre. Mais dès que la balle s'avance avec la rapidité que lui donne la poudre, les molécules qu'elle touche sont enlevées si vivement qu'elles n'ont pas le temps de transmettre sur les côtés le mouvement qui leur a été communiqué : tout se passe alors dans le cercle que frappe la balle; et le carreau tout entier, ne fût-il soutenu que par un fil de soie, n'éprouverait pas le moindre ébranlement.

C'est par la même raison que l'on a vu souvent un boulet de canon couper en deux le fusil d'un fantassin, sans que celui-ci ressentît la plus légère pression, à peu près comme avec une baguette on coupe une tête de pavot sans faire fléchir la tige.

Application à la Marine.

Beudant, physicien français très-distingué, a su tourner l'observation de ces phénomènes à l'avantage de la marine, en faisant remarquer que, si un vaisseau se trouve en mer à demi-portée de canon d'un fort ou d'un bâtiment ennemi, il a moins à craindre que s'il était à portée entière. Car, dans le premier cas, le boulet arrivant sur le vaisseau avec beaucoup de vitesse ne fait qu'un trou qu'il est facile de boucher; tandis que dans le second, le boulet, ayant moins de vitesse, brise la charpente autour du point qu'il choque, et le dommage est plus difficile à réparer.

Effets que peut produire un mobile en vertu de sa quantité de mouvement acquise.

Le choc d'une bûche qui flotte avec une vitesse modérée à la surface de l'eau, est sans danger pour un nageur; placé contre un obstacle, la rencontre d'un bateau chargé, qui n'aurait que la vitesse de la bûche, lui briserait les os.

Les îles de glace flottantes des mers polaires qui presseraient entre elles un vaisseau de guerre du premier rang, l'écraseraient, comme deux bateaux qui se rencontrent brisent les coquilles d'œuf qui flottent à la surface de l'eau.

Le grêlon qui tombe de l'atmosphère frappe rudement celui dont la tête est découverte. Les fragmens de roc que, dans l'antiquité, les assiégés faisaient rouler du haut de leurs remparts sur les assiégeans, portaient partout la mort sur leur passage; et l'avalanche qui se détache de la cime de la montagne, roule dans la vallée, balayant devant elle des villages entiers.

Du choc qu'éprouvent deux corps qui se rencontrent.

Il est le même, soit que le mouvement se trouve partagé entre les deux corps, soit qu'il réside dans un seul.

L'homme qui court et qui vient heurter contre un autre homme en repos, reçoit un choc comme ce dernier. Le choc est deux fois plus fort, si les hommes courent à la rencontre l'un de l'autre, avec des vitesses égales : ce genre de rencontre est souvent fatal aux patineurs.

Le cavalier qui heurte contre un arbre lorsqu'il est lancé au galop, court le risque d'avoir la tête brisée, aussi bien que par une poutre qu'on lancerait contre lui avec la vitesse du cheval.

Il n'est pas rare, dans les luttes, que les boxeurs se brisent ou se disloquent les os, lorsque les poings viennent à se rencontrer.

De même, les vaisseaux qui, à la mer, marchent en sens inverse, chacun avec une vitesse ordinaire, et se choquent, se détruisent souvent l'un l'autre, comme si chacun d'eux avait donné sur un roc avec une vitesse double. On n'a que trop d'exemples à citer de catastrophes aussi funestes; combien de fois, dans les nuits obscures, un gros vaisseau n'a-t-il pas enseveli un plus faible navire.

Du Mouvement curviligne.

227. Le ***mouvement curviligne*** est celui qui fait parcourir au mobile une ligne courbe à laquelle on a donné le nom de ***trajectoire curviligne.***

Il résulte toujours de plusieurs forces qui agissent ensemble sur le corps, en changeant constamment de rapports entre elles.

228. Pour concevoir ce mouvement, supposons qu'un mobile **M** (fig. 61) soit soumis à l'action de deux puissances qui agissent simultanément, l'une suivant l'horizon **MF**, et l'autre dans le sens vertical **MP** : que la première soit uniforme, c'est-à-dire qu'elle fasse parcourir au mobile **M** des espaces égaux **MA**, **AB**, **BC**, **CD**, etc., en des instans de même durée, ou telle qu'après le premier, le second, le troisième, le quatrième, etc., il arrive à des distances $MA = 1$, $MB = 2$, $MC = 3$, $MD = 4$, etc.; et que la seconde, toujours accélérée, tende à lui faire franchir les espaces Mp, Mp', Mp'', Mp''', etc., exprimés par les nombres 1, 4, 9, 16, …… en des temps respectivement égaux aux précédens. Alors, en vertu du principe de la composition des forces, le corps **M** parcourra, dans ces divers instans successifs, c'est-à-dire dans le 1er, le 2e, le 3e, le 4e, etc., les diagonales Mr, rr', $r'r''$, $r''r'''$, etc. Mais toutes ces lignes ont

une direction différente; et comme elles seront infiniment courtes, si l'on suppose les instans employés infiniment petits, leur suite formera la courbe $Mrr'r''r'''$, dont le mobile parcourra la partie Mr dans le 1[er] instant, la partie Mr' dans les *deux* 1[ers], la partie Mr'' dans les *trois* 1[ers], Mr''' dans les *quatre* 1[ers], etc.

Cette courbe s'appelle *trajectoire curviligne* ou simplement *trajectoire*: c'est une *parabole*, selon le langage des Géomètres, parce qu'elle a les *ordonnées* MA, MB, MC, MD, proportionnelles aux quarrés des *abscisses* Mp, Mp', Mp'', Mp'''.

229. Les corps lancés au-dessus de l'horizon et dans une direction qui lui soit oblique, offrent des exemples du mouvement curviligne: le point H (fig. 62), le plus élevé de la courbe, détermine la *hauteur* du jet; et la distance *mn*, à laquelle le mobile revient au niveau de son point de départ, s'appelle l'*amplitude* du jet.

Telles sont les courbes que décrivent dans leur mouvement au-dessus de l'horizon, le boulet qui s'échappe du canon, la balle qui sort du fusil, la pierre lancée par la fronde. L'action de la force de projection cesse aussitôt qu'elle a donné l'impulsion; mais celle de la gravité (235), agissant à chaque instant, courbe de plus en plus la route que la pierre, ou la balle, ou le boulet tendrait à parcourir, de sorte que cette route totale ou trajectoire est nécessairement *curviligne*.

Un jet d'eau oblique est aussi une image fidèle et permanente de la courbe décrite par un corps ainsi projeté. Les molécules liquides se meuvent suivant la ligne que chacune eût parcourue isolément, et la succession non interrompue de ces molécules, marque le lieu de toutes les situations que chacune a dû occuper avant d'arriver à la terre.

Il est bon toutefois d'observer que le mouvement curviligne ne peut être considéré comme parfaitement parabolique, parce que la résistance de l'air l'altère beaucoup.

Application à l'Artillerie.

Les artilleurs font une application fréquente du mouvement curviligne dans le jet des boulets et des bombes. C'est en déterminant l'amplitude de la courbe-directrice qu'ils parviennent à atteindre le but qu'ils se proposent; et pour cela, il faut connaître la valeur de la force projectile, c'est-à-dire, l'action des puissances, l'une uniforme et l'autre accélératrice, qui agissent sur le mobile. Mais cette force projectile vient alors de l'explosion de la poudre, et il est très-difficile d'estimer cette impulsion avec quelque justesse; elle dépend principalement de la qualité de la poudre et de la quantité qui s'enflamme avant le départ de la bombe ou du boulet. L'expérience a démontré que toujours une partie de la poudre ne s'enflamme point, et que cette partie n'est pas chaque fois proportionnelle à la quantité employée; cela dépend de plusieurs circonstances, qui ne sont pas constamment les mêmes, comme de la longueur du canon, de la force avec laquelle la charge a été bourrée, etc. D'où il suit qu'une des quantités les plus essentielles à connaître pour juger de l'amplitude de la trajectoire parabolique, est sujette à beaucoup de variations. C'est à la

Ballistique, art de mesurer avec exactitude le jet de tout corps pesant, qu'il faut recourir pour apprécier toutes ces circonstances et les combiner ensemble pour en obtenir des résultats satisfaisans.

Remarque. Un boulet de canon, ou une balle de fusil, tiré bien horizontalement au-dessus d'une plaine parfaitement nivelée, arrivera au sol précisément en même temps qu'une balle qu'on laisserait tomber de la bouche du canon à l'instant même du départ du boulet. Car, dans le cas actuel, la force de projection ne détruit en rien l'action de la gravité. Ce fait, dont bien des gens seraient d'abord disposés à douter, montre d'une manière bien sensible avec quelle vitesse extraordinaire se meut le boulet qui parcourt 6 ou 800 pieds, pendant la demi-seconde environ, qu'une balle pourrait exiger pour arriver au sol, en la supposant tomber de la main d'une personne qui se tient debout. Ce fait explique encore pourquoi le canonnier pointe plus ou moins haut, pour avoir une grande portée.

De la Force centrifuge.

230. On a donné la dénomination de *force centrifuge* à l'effort que fait continuellement un corps en mouvement curviligne pour s'échapper par la tangente de la courbe qu'il décrit.

231. Concevons une petite boule sans pesanteur attachée à l'extrémité d'un fil inextensible CM (fig. 63), et supposons qu'on lui donne une impulsion pour la faire tourner autour du point C, comme la pierre d'une fronde tourne autour de la main. Il est clair que la boule décrira un cercle entier, puis un autre cercle et ainsi de suite indéfiniment; s'il n'y avait pas de résistance, ce serait un mouvement perpétuel et perpétuellement uniforme. La vitesse de ce mouvement est égale à l'espace divisé par le temps, comme celle du mouvement rectiligne. En même temps le fil éprouve une tension; car si on le coupe à un instant donné, la boule ne se mouvra plus en cercle, comme elle faisait auparavant; mais elle ira droit devant elle, en suivant la tangente sur laquelle elle se trouve: c'est la cause de cette tension du fil qu'on appelle *force centrifuge*, parce qu'en effet c'est l'effort que fait la boule pour fuir le cercle, si l'on fait abstraction du fil, et que l'on considère la boule comme libre; en lui appliquant une force égale et opposée à la tension, on aura l'idée de la force *centrale* ou *centripède* qui contrebalance la force centrifuge.

C'est par la combinaison de cette force centrale et de l'effet de l'impulsion primitive que le cercle est décrit.

Quand la pierre d'une fronde tourne lentement, la corde est peu tendue; quand elle tourne vite, la corde se tend davantage. Ainsi, la force centrifuge est dépendante de la vitesse de rotation; elle croît et décroît avec elle dans un certain rapport. On démontre

en Mécanique que dans des cercles inégaux, qui sont décrits dans le même temps, les forces centrifuges sont proportionnelles aux rayons. Par exemple CAB (fig. 64) étant une roue horizontale ou verticale qui tourne autour de l'axe C, la force centrifuge du point B sera double de celle du point A, si CB est double de CA.

Pour des cercles égaux, décrits dans des temps différens, les forces centrifuges sont en raison inverse des quarrés des temps.

Si le mouvement n'était pas circulaire, s'il suivait une autre courbe quelconque, il n'y aurait pas moins une force centrifuge; mais alors elle serait évaluée d'une autre manière. Dans tout mouvement curviligne la force centrifuge existe, et il faut toujours, pour l'empêcher d'avoir son effet, ou un fil qui retienne le mobile, ou une résistance qui l'empêche de s'éloigner, ou enfin une force centrale, qui agisse sans cesse sur lui et qui l'attire vers le centre de rotation, autant que la force centrifuge le pousse à s'en écarter.

232. Les physiciens réalisent plusieurs effets remarquables de la force centrifuge au moyen des expériences que nous allons rapporter.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

233. L'instrument représenté par la figure 65, se compose d'une barre de métal AB, traversée perpendiculairement à son milieu par un axe vertical *aa'*, sur lequel elle peut tourner librement. Les extrémités de la barre portent deux lames fixées à angle droit sur sa direction, et de l'une à l'autre passe une baguette de fer *mn* dans laquelle sont enfilées des boules solides de masse et de nature différentes, qui peuvent glisser le long de la baguette avec très-peu de frottement.

Si l'on place une de ces boules au milieu de cette baguette, tout-à-fait sur le prolongement de l'axe *aa'*, elle y reste en repos pendant le mouvement rapide de rotation qu'on donne à la partie AB de l'appareil, parce que se trouvant parfaitement au centre, les différentes parties étant sollicitées en sens contraire, leurs actions doivent se détruire. Mais, si l'on place une boule en un point de la baguette pris à quelque distance de l'axe, puis qu'on fasse tourner la barre AB, la boule, alors emportée par la force centrifuge qui la sollicite, glisse le long du fil de fer jusqu'à ce qu'elle arrive à l'extrémité de la barre où elle est arrêtée par la résistance des lames.

On peut varier l'expérience de bien des manières, par exemple, en liant ensemble plusieurs boules par un fil, pour opposer leurs forces centrifuges, et choisissant le fil assez fort ou assez faible pour qu'il résiste ou pour qu'il se rompe; il suffit d'avoir indiqué le fait général pour qu'on en imagine aisément toutes les particularités.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

234. On fait une autre expérience analogue à la précédente, en substituant aux balles, des liquides contenus dans des tubes de verre, fermés à leurs extrémités, dont l'une réponde au centre de rotation *a*, et la seconde s'appuie sur l'une des lames fixées à chaque bout de la barre AB (fig. 66). Alors, si l'on dispose ces tubes dans une direction peu inclinée à l'horizon, et qu'on les remplisse en partie d'un liquide quelconque, d'eau colorée, par exemple, on verra d'abord, tant que la machine sera immobile, l'eau rester au point le plus bas de chaque tube en vertu de la pesanteur qui la sollicite. Mais, si l'on fait tourner la barre AB assez rapidement, la force centrifuge, qui se développera dans les molécules de cette eau, vaincra la force de son poids, et la portera jusqu'aux extrémités supérieures des deux tubes, où elle la maintiendra contre sa tendance primitive, tant que le mouvement de rotation subsistera avec énergie.

Maintenant, si dans cette eau, lorsqu'elle est d'abord tranquille, on met une balle de plomb, celle-ci ira au fond par l'effet de son poids et y restera. Mais en faisant tourner la machine comme précédemment, la force centrifuge portera l'eau et la balle vers l'extrémité supérieure du tube; bien plus, la même force lancera la balle jusqu'à cette extrémité, de sorte qu'elle se trouvera soutenue au point le plus haut du liquide, contre ce qui arrive ordinairement.

Si l'on substitue à la balle de plomb une balle de liége ou de toute autre matière dont le poids soit moindre que celui de l'eau à volume égal, les phénomènes seront contraires; c'est-à-dire que la balle de liége qui flotte sur l'eau, sous l'influence de la pesanteur seule, flotte *au-dessous* de la partie la plus basse de ce liquide, quand la force centrifuge a surmonté l'action de la pesanteur.

De quelques applications de la force centrifuge.

1° Lorsqu'on fait circuler une pierre dans une fronde, la pierre se meut en vertu d'une double impulsion. Elle est animée par la force centrale qui l'attire vers la main qu'on peut regarder comme le centre du cercle décrit. De plus, la pierre fait continuellement effort pour se mouvoir le long de la tangente; car, du moment qu'on lâche la fronde, la pierre s'échappe par la tangente de la courbe qu'elle décrivait auparavant.

2° Les roues des voitures roulant sur un terrain boueux entraînent dans leur mouvement rapide des matières étrangères, dont l'adhérence à la roue est beaucoup moindre que la force centrifuge qui les anime : aussi cèdent-elles promptement à l'impulsion de cette force qui les sollicite à s'échapper par la tangente.

3° Les soleils qu'on fait paraître dans les feux d'artifice deviennent plus grands et plus beaux par leur mouvement de rotation; la poudre enflammée se répand de tous côtés par une infinité de tangentes, et forme un plan beaucoup plus étendu qu'il ne pourrait être si elle brûlait sans circuler.

4° La force centrifuge qui anime les corps mus circulairement, a aussi été employée avec avantage à la construction de plusieurs pompes, des soufflets de forge, des cribles imaginés pour nettoyer le blé. Le ventilateur de Déseguilliers, destiné à renouveler l'air de la chambre d'un malade, est encore une application ingénieuse et utile de la force centrifuge.

5° Les corps solides placés sur une table que l'on fait tourner comme une roue horizontale, s'échappent bientôt.

6° Dans le moulin à blé, le grain est reçu entre les meules à travers une ouverture pratiquée au centre de la meule supérieure; la force centrifuge le pousse continuellement vers la circonférence, jusqu'à ce qu'il s'échappe enfin à l'état de farine.

7° L'homme qui se coucherait suivant la direction d'un des rayons de cette meule, les pieds tournés vers le centre, et la tête à la circonférence, s'endormirait ou mourrait d'une apoplexie, le sang exerçant une action considérable sur la cervelle, en vertu de la force centrifuge.

8° Un balai mouillé qu'on fait rouler rapidement sur son manche, projette l'eau qu'il avait retenu, dans toutes les directions, et se sèche ainsi par la force centrifuge.

9° Les moutons, dans les temps humides, se débarrassent de l'eau dont leur toison est recouverte, par un mouvement de rotation alternatif qu'ils lui impriment. Les chiens font de même au sortir de l'eau.

10° Un liquide versé dans un vase qu'on fait tourner sur son centre comme une roue horizontale, s'éloigne du centre et se relève tout autour du vase le long de sa paroi intérieure.

11° L'eau qu'on verse obliquement dans un entonnoir, y descend en circulant, et laisse quelquefois un passage pour l'air jusqu'au fond, en formant ainsi une espèce de doublure liquide. C'est en partie à la force centrifuge qu'il faut attribuer ce phénomène, la pression de l'air concourant avec elle pour le produire.

12° Les grands tourbillons à la mer, et ceux d'une moindre étendue qu'on remarque dans les rivières, présentent encore des exemples de force centrifuge.

Lorsqu'un courant rencontre subitement un obstacle, un roc, par exemple, l'eau qui continue son mouvement en ligne droite, retombe bientôt en arrière de l'obstacle, laissant une espèce de fosse liquide dont les flancs tournoient perpétuellement. Charybde, dans la Méditerranée, et le grand tourbillon de la côte de Norwège ou Mahlstrom, en sont des exemples bien connus.

13° C'est encore à la force centrifuge qu'il faut attribuer les coudes nombreux que présentent les rivières qui coulent dans les pays plats. Le courant est-il jeté, par une cause quelconque, sur la gauche, par exemple, il use pour ainsi dire de ce côté le lit de la rivière, le coude par son action centrifuge, et cela jusqu'à ce qu'il rencontre quelqu'obstacle insurmontable, comme une rive rocailleuse ou plus élevée; alors il se dirige vers la droite, puis de la droite il revient à la gauche, et ainsi de suite, en produisant de part et d'autre les mêmes effets.

14° Il arrive souvent que les voitures versent en tournant trop brusquement l'angle d'une route ou un coin de rue. Ces accidens proviennent de ce que la caisse de la voiture persiste, en vertu de l'inertie, dans sa direction première, pendant que les chevaux tirent subitement les roues dans une nouvelle direction. Une diligence chargée qui court vers le sud, et qui tourne brusquement à l'est ou à l'ouest, jette les voyageurs et le bagage au sud de la route. Lorsqu'un tournant rapide est inévitable, le côté extérieur du tournant doit toujours s'élever plus que le côté intérieur, afin de prévenir de tels accidens.

15° Le cavalier qui tourne un coin de rue avec vitesse, a toujours le soin de s'incliner en dedans, c'est-à-dire du côté du coin, afin de balancer la force centrifuge qui le renverserait. L'homme qui court à pied agit de même dans pareille circonstance.

16° La force centrifuge nous explique comment il devient plus facile de faire la voltige à cheval dans un manége, comme celui de nos théâtres, que sur une route droite. Nous voyons toujours l'homme et le cheval s'incliner vers le centre du manége; l'inclinaison du voltigeur en dedans est-elle trop grande et court-il risque de tomber, il pousse le cheval au grand galop, et l'équilibre se rétablit; il ralentit son pas, au contraire, s'il craint de tomber en dehors.

17° Le potier de terre tire encore parti de la force centrifuge pour donner la forme ronde à ses produits. Il place sur sa girelle un vaisseau à demi formé d'argile humide, et le mouvement de rotation qu'on imprime à la machine, étend cette pâte, et l'assiste dans son travail.

18° Une balle d'argile molle qu'on fait tourner avec rapidité sur un axe qui la traverse, perd bientôt sa forme sphérique; elle renfle dans la partie située à égale distance des extrémités de l'axe, et s'aplatit ainsi à ses extrémités mêmes.

Ce phénomène est précisément celui que présente le globe terrestre, qui paraît n'avoir point toujours eu cette dureté que sa croûte possède aujourd'hui, mais au contraire avoir été originairement dans un état de mollesse qui a permis à ses parties d'obéir à la force centrifuge. On sait maintenant qu'en effet le demi-diamètre de l'équateur surpasse celui du pôle de près de cinq lieues.

LEÇON XVe.

DE LA PESANTEUR.

Ce qu'on entend par pesanteur ou gravité. — Différence entre la *pesanteur* et le *poids* d'un corps. — De la chute des corps et des lois de la pesanteur. — La direction de la pesanteur est partout perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles. — Expériences faites au moyen du plan incliné de Galilée et de la machine d'Atwood pour démontrer les lois de la pesanteur. — Conséquences tirées de ces principes. — Du mouvement retardé par la gravité. — Application à la Gymnastique.

235. On a donné le nom de *pesanteur* ou de *gravité* à la force en vertu de laquelle un corps abandonné à lui-même se précipite vers le centre de la Terre.

236. Ce phénomène se produit à la surface du sol, comme on l'observe tous les jours; il se produit à de grandes hauteurs dans le ciel, comme on en juge par la grêle et la pluie qui tombent des nuages; et il se produit encore à de grandes profondeurs sous terre, ainsi qu'on le voit dans les puits, dans les caves et dans les mines les plus profondes qu'on ait pu creuser : quand les montagnes s'affaissent, c'est qu'elles manquent par leur base, qui sans doute est encore plus abaissée que le fond des mines. Cependant la matière étant inerte, et ne pouvant d'elle-même ni prendre du mouvement, ni changer celui qu'elle a, il est clair que d'elle-même elle ne pourrait pas descendre vers la terre, puisque ce serait se donner du mouvement; il faut donc qu'il y ait une force qui la fasse tomber, et c'est cette force qu'on appelle *pesanteur*.

Mais cette force ne fait pas seulement *tomber* les corps; elle produit aussi beaucoup d'autres phénomènes et beaucoup d'autres mouvemens, qui sont désignés par des mots très-différens. Tels sont, par exemple, les mouvemens des liquides qui s'écoulent des vases, et le mouvement des fleuves qui coulent vers la mer; tels sont les mouvemens du liége et des corps légers qui s'élèvent du fond de l'eau à sa surface, de la fumée, des brouillards et des ballons qui s'élèvent dans les airs. Tous ces phénomènes qui semblent si contradictoires ne sont que des effets variés de la pesanteur.

237. Les anciens physiciens ont imaginé divers systèmes ingénieux pour remonter jusqu'à la cause de ces phénomènes. Mais ils ont tous disparu devant la théorie de la *gravitation universelle* due au célèbre Newton, et dont le nom seul exprime l'effort sublime à l'aide duquel ce physicien a fait rentrer dans le domaine de la pesanteur les mouvemens célestes et les plus grands phénomènes de la nature.

238. La pesanteur est une force commune à tous les corps : si nous en voyons quelques-uns, tels que la fumée, les vapeurs, etc., ne pas s'approcher et même s'éloigner de la terre, c'est parce que l'air, plus dense qu'eux, s'oppose à leur chute, et qu'ils agissent alors dans ce fluide comme un morceau de liége plongé dans l'eau, qui, abandonné ensuite à lui-même, remonte aussitôt à la surface. L'expérience suivante suffira pour prouver que, dans le vide, ces corps perdent leur légèreté prétendue.

EXPÉRIENCE.

239. Placez une chandelle allumée sous le récipient de la machine pneumatique; après plusieurs coups de piston, elle

s'éteindra, et l'on verra la fumée, qui s'était d'abord élevée dans la capacité du globe, descendre en forme de nuage, parce que l'air n'est plus assez dense pour la soutenir.

Différence entre la pesanteur et le poids d'un corps.

240. Il existe une différence très-remarquable entre la *pesanteur* et ce qu'on appelle proprement le *poids* d'un corps. Car la pesanteur se mesure par la vitesse qu'elle imprime à chaque molécule qui compose le corps, et cette vitesse est indépendante du nombre des molécules; tandis que le poids d'un corps s'estime par l'effort qu'il faut faire pour le soutenir et l'empêcher de tomber, effort d'autant plus considérable qu'il y a dans ce corps plus de molécules animées de la même vitesse.

Ainsi, le poids a précisément pour expression le produit de la masse par la vitesse; d'où il suit qu'il varie dans le même rapport que la masse relativement aux corps que nous pesons, parce qu'ils sont censés être sollicités par des vitesses égales.

De la chute des corps.

241. On rapporte que ce fut dans la chute d'une pomme que le génie sublime de Newton sut lire les lois d'attraction qui régissent l'univers.

L'œil qui voit la pomme se détacher de la branche, peut bien la suivre pendant quelques instans, et remarquer son accélération; mais bientôt, sa trace dans l'espace n'est plus qu'une ombre qu'il ne distingue plus.

L'enfant qui laisse une balle s'échapper de sa main, la rattrape facilement dans le premier moment; un instant plus tard, sa main cherche en vain à la saisir.

Le roc détaché par la foudre, se meut d'abord lentement; mais, une fois lancé, il recueille à chaque instant de nouvelles vitesses, et s'en va rebondir de roc en roc, emportant, renversant tout ce qui s'oppose à sa course.

Lorsqu'on transvase un sirop épais, on voit la lame liquide s'amincir de plus en plus, à mesure que la vitesse augmente. Si la hauteur de laquelle on le verse est considérable, cette lame se transforme, à son extrémité, en un filet dont la vitesse d'écoulement est très-grande, car il remplit l'autre vase en peu de temps. La cataracte du Niagara est une imposante image de ce phénomène que nous voyons tous les jours: une rivière d'une largeur considérable courbe ses eaux, au-dessus d'un précipice, en une masse liquide, d'abord lente et majestueuse, qui s'amincit bientôt en une lame de

plus en plus fine, et vient frapper à deux cents pieds plus bas avec la rapidité de la foudre.

Lorsque la vitesse de chute devient très-grande, l'œil ne peut plus la mesurer, même approximativement; mais, les effets du corps qui tombe en donnent une idée. Un homme saute impunément d'une chaise jusqu'au sol; d'une table, il reçoit un choc sensible; d'une fenêtre élevée, il se rompt les membres, et le corps de l'aéronaute qui tombe de son ballon, est entièrement mis en pièces.

242. Nous voyons tomber les corps avec d'autant plus de rapidité qu'ils sont plus denses; ainsi les pierres et les métaux se précipitent très-vite; le bois et les autres substances végétales vont plus lentement; et il en existe, comme les plumes, les duvets, les flocons de neige, qui semblent à peine pesans; car ils flottent dans les airs et ne tombent qu'avec une lenteur extrême. Cependant la vitesse de la chute des différens corps n'est pas due à leur densité, puisqu'un corps deux fois plus dense qu'un autre ne tombe pas deux fois plus vite.

Cette expérience, exécutée par Galilée, a fait soupçonner que la vitesse communiquée aux corps par la pesanteur est la même pour tous; et on a depuis prouvé directement cette assertion en faisant tomber dans le vide des corps de même volume et de masse très-différente, tels que du papier, du plomb, du fer, du liége, de la plume, etc.; malgré l'inégalité de leurs poids, ils se précipitent dans le même temps.

EXPÉRIENCE.

Si dans un tube de verre *ab* (fig. 67), long d'environ deux mètres, armé d'un robinet à l'une de ses extrémités et soudé à l'autre, on met des cercles de plomb, de bois et de papier d'égales dimensions, puis qu'on renverse le tube, après en avoir préalablement vidé l'air, on observe que dans leur chute ces corps sont toujours ensemble. Mais, si on laisse rentrer l'air peu à peu, on voit alors ces mêmes cercles différer de plus en plus de vitesse, et arriver au bas du tube l'un après l'autre, suivant l'ordre de leur densité.

243. De tout ce qui précède, on conclut que la vitesse que la pesanteur tend à communiquer aux corps est la même pour tous, et que, si nous les voyons tomber dans l'air avec des vitesses différentes, c'est parce que ce fluide produit sur leur mouvement des effets inégaux.

Supposons, par exemple, deux corps dont les masses soient entre elles comme 1 est à 12, les volumes étant égaux, et la vitesse

commune de la pesanteur représentée par 1; ces deux corps tomberont dans le vide avec des forces proportionnelles aux nombres 1 et 12 (155), mais avec des vitesses égales, puisqu'une force $=12$ ne produit qu'une vitesse $=1$ dans une masse $=12$, de même qu'une force $=1$ donne 1 de vitesse pour une masse $=1$; ainsi ces corps auraient la même vitesse. Admettons maintenant que ces corps tombant dans l'air perdent chacun par la résistance de ce fluide une force $=\frac{1}{2}$; alors le corps le moins dense n'aura plus que $1-\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{2}$ de force, et conséquemment $\frac{1}{2}$ de vitesse (155), tandis que l'autre conservera encore $12-\frac{1}{2}$ ou $\frac{23}{2}$ de force, qui donne pour vitesse $\frac{23}{2} : 12 = \frac{23}{24}$, vitesse beaucoup plus grande que la première.

De la direction de la pesanteur.

244. Pour déterminer la ligne suivant laquelle tombent les corps, on fixe un fil par un bout, et on attache à l'autre une petite balle de métal. La direction du fil, quand il sera tendu et en repos, sera précisément celle de la pesanteur. Cet instrument simple (fig. 68) se nomme un *fil-à-plomb* ou un *pendule*, et la ligne droite *ab* qu'il fixe s'appelle *verticale;* ainsi, la direction de la pesanteur est celle du fil-à-plomb ou de la verticale, et rien n'est plus facile que de la trouver à chaque instant dans tous les lieux de la Terre.

245. On a remarqué que la direction de la pesanteur était partout perpendiculaire à la surface des *eaux tranquilles;* surface dite *horizontale,* parce qu'elle se confond avec l'*horizon* terrestre, cercle qui borne notre vue de toutes parts, lorsque nous regardons autour de nous en un lieu quelconque du globe, pourvu qu'il soit découvert. On ne trouve qu'au-dessus des mers ou des lacs des surfaces parfaitement horizontales; cependant on a étendu cette dénomination aux plaines dont la surface présente, sous ce rapport, quelque ressemblance avec la mer.

246. Puisque les lignes de la direction de la pesanteur sont perpendiculaires à la *surface de la terre*, considérée toutefois comme très-unie, sans montagnes, ni vallées, ni excavations, ou comme entièrement couverte d'eau *, elles concourent toutes

---

* C'est cette surface, réelle en partie, et en partie idéale, qu'on nomme encore *surface de niveau* et *surface horizontale*.

Ainsi, les planchers de nos appartemens, tellement dressés que la direction du fil-à-plomb leur soit perpendiculaire, nous offrent des *surfaces de niveau* ou *horizontales*.

vers son centre; car il est reconnu, en Géométrie, que toutes les perpendiculaires à une surface sphérique se réunissent au centre du volume qu'elle limite.

Des lois de la pesanteur.

247. On a vu que la pesanteur (241), en supposant qu'elle agisse seule sur les corps et qu'elle ne soit combattue par aucune résistance qui gêne les mouvemens qu'elle leur imprime, exerce sur tous la même vitesse, quels que soient leur poids et la substance qui les compose. Maintenant il nous reste à chercher quelle est cette vitesse commune qui règle la chute des différens corps, et, en général, quel rapport il existe entre l'espace que parcourt un corps et le temps qu'il emploie à le parcourir. Ce rapport sera *la loi de la pesanteur*, c'est-à-dire la loi que la pesanteur imprime à la matière.

248. La chute des corps étant au commencement très-lente, et leur vitesse s'accroissant ensuite si rapidement qu'on ne peut plus remarquer le point où ils passent, il semblait impossible de trouver les lois fondamentales de la pesanteur. Cependant, après bien des recherches, on est parvenu à les déterminer expérimentalement au moyen de machines ingénieuses dues à Galilée et au mécanicien anglais Atwood.

Plan incliné de Galilée.

249. Ce qu'on appelle *plan incliné de Galilée* se réduit à une ligne inclinée sur laquelle on fait rouler un mobile. Dans nos cabinets de physique, c'est une corde très-unie de huit à dix mètres de long, que l'on tend très-fortement entre deux points fixes, dont l'un est plus bas que l'autre, et sur laquelle on fait rouler un petit char ou une poulie de métal d'une forme particulière. L'inclinaison qu'on donne à la corde permet de ralentir la vitesse autant qu'il est nécessaire pour rendre sensible la marche du mobile; et comme, quelle que soit la diminution d'intensité qu'on fait subir à une force, on ne change que le mouvement absolu qu'elle imprime, sans altérer le rapport des espaces parcourus dans des temps donnés, il en résulte que la loi observée sur cette corde inclinée est précisément celle de la pesanteur.

EXPÉRIENCE.

250. Maintenant, la corde étant bien tendue, si on laisse glisser le char à un instant déterminé, qu'on note les espaces qu'il parcourt pendant 1, 2, 3, etc., secondes, on trouve que ces espaces sont représentés respectivement par les nombres 1, 4, 9, etc., quarrés des temps 1, 2, 3, etc.; ainsi, dans la chute des corps, les

espaces parcourus sont entre eux comme les quarrés des temps employés à les parcourir. Donc le mouvement que la pesanteur imprime suit la même loi, et la pesanteur est une force uniformément accélérée.

251. Cette première loi de la pesanteur est susceptible d'une démonstration expérimentale plus claire et plus rigoureuse, qu'on obtient à l'aide de la machine d'Atwood, et que nous expliquerons après avoir fait connaître l'instrument.

Machine d'Atwood.

252. Cet appareil est une colonne (fig. 69), haute d'environ trois mètres, qui supporte une poulie A dont on rend le mouvement facile en faisant reposer son axe sur deux rouleaux cylindriques et mobiles. Un fil de soie très-fin, aux extrémités duquel sont fixés des masses égales m, m', de 3 à 4 kilogrammes, et qui se font conséquemment équilibre (198), passe dans la gorge de cette poulie. A côté de la colonne se trouve invariablement établie une longue règle R, divisée en parties égales et destinée à mesurer les espaces parcourus par le mobile. Enfin on adapte à la machine une pendule à secondes avec un compteur.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

253. L'instrument étant convenablement disposé, si sur la masse m, qui doit correspondre au zéro de la règle R, on place un petit poids supplémentaire p, l'équilibre sera rompu, les masses se mettront en mouvement, et celle qui est surchargée descendra avec une vitesse constante accélérée, qui la conduira à la *première* division de la règle dans 1 seconde, à la *quatrième* en 2 secondes, à la *neuvième* en 3 secondes, et ainsi de suite; en sorte que *les espaces parcourus sont proportionnels aux quarrés des temps*.

Pour s'assurer du temps précis qui s'écoule pendant la durée de l'expérience, on fait communiquer l'horloge à une détente particulière qui soutient la masse augmentée du poids p, vis-à-vis le *zéro* de la division de la règle. A un instant donné, la détente part, le mouvement se communique aux masses, et l'horloge continue de marquer les secondes qui s'écoulent jusqu'à l'instant où la masse descendante $m+p$ arrive au point de division qu'on a choisi pour terme de sa course.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

254. Si au petit poids ajouté à la masse m, on en substitue un autre égal p', mais d'une forme allongée, et qu'on fixe à la règle, au moyen de vis, un anneau a, qui laissera passer la masse m, en arrêtant le poids supplémentaire; alors on verra, si le corps m a mis *deux* secondes pour arriver à la *quatrième* division où il dépose

le poids *p*, qu'au bout de *deux* autres secondes, il parcourra les *huit* divisions suivantes. Ainsi, *la force accélératrice cessant d'agir après un certain temps, elle fait franchir au mobile qui lui était soumis, uniformément et dans le même temps, un espace double de celui qu'il a parcouru d'abord.*

255. Les expériences précédentes nous permettent donc d'admettre comme lois fondamentales de la pesanteur :

1° Que les corps soumis librement à l'action constante de cette force, parcourent dans leur chute des espaces qui sont entre eux comme les quarrés des temps employés à les parcourir, ou comme les quarrés des vitesses acquises pendant l'accélération.

2° Que si la force accélératrice cesse d'agir au bout d'un temps déterminé, le corps soumis à son action aura acquis une vitesse capable de lui faire parcourir, dans le même temps, un espace double de celui décrit depuis le commencement de la chute.

256. D'après ces principes, il est facile de trouver le rapport que suivent les espaces parcourus pendant des temps consécutifs égaux entre eux.

En effet, si on ôte l'espace décrit par un mobile dans le premier instant de celui qu'il parcourt dans les deux premiers, l'un étant représenté par 1 et l'autre par 4 (250), on aura évidemment pour l'espace parcouru pendant le *second* instant, 4 — 1 ou 3. L'espace décrit dans le *troisième* instant s'obtiendra de même en retranchant celui des deux premiers instans de celui parcouru durant les trois premiers ; il est donc égal à 9 — 4 ou 5 ; et il en est de même des suivans.

De là il résulte que *les espaces parcourus en des temps égaux et consécutifs, croissent comme la suite des nombres impairs* 1, 3, 5, 7, *etc.*, ou bien qu'*ils sont proportionnels à ces nombres.*

Du mouvement retardé par la gravité.

257. La loi qui accélère la vitesse de la chute des corps retarde aussi le mouvement d'un mobile lancé en l'air verticalement de bas en haut, c'est-à-dire que les espaces qu'il parcourt décroissent dans la même proportion ; ce qui doit être, puisque le corps qui s'élève est constamment sollicité par la pesanteur dans une direction contraire à celle qui a été imprimée dès l'origine.

Ainsi, la balle d'un fusil qu'on tire de bas en haut, perd à chaque instant une partie de sa vitesse, jusqu'à ce qu'enfin elle arrive au repos parfait en un point de l'espace ; là, l'oiseau qui se joue dans les plaines de l'air, pourrait voir sans effroi ce messager de la

mort, sans mouvement et sans force, comme le dit le docteur *Neil Arnott*. Un instant de plus, et la balle descend en regagnant progressivement les mêmes vitesses qu'elle avait perdues pendant son ascension.

Un corps lancé de même, en sens opposé à la gravité, par une force de projection capable de lui imprimer une vitesse double, s'élèvera à une hauteur quatre fois plus grande que si la vitesse était simple; la vitesse étant triple, le corps s'élèverait neuf fois plus haut.

Application à la Gymnastique.

Lorsqu'on lance une balle de bas en haut, et qu'on cherche à la frapper avec une autre balle, pendant qu'elle est en l'air, on y réussit avec un peu d'adresse, si on saisit l'instant où elle va parvenir au repos, c'est-à-dire où sa force ascensionnelle va s'éteindre. Au contraire, on l'atteint d'autant plus difficilement que la vitesse est plus grande, ou que sa distance à la terre est plus petite, soit qu'elle s'élève, soit qu'elle descende.

L'escarpolette, abandonnée à elle-même après avoir été mise en mouvement, doit son jeu d'oscillation à des vitesses alternativement accélérées et retardées; il dure d'autant plus que le siége a été élevé davantage.

LEÇON XVIe.

SUITE DE LA PESANTEUR.

Comment la force centrifuge modifie l'action de la Pesanteur. Elle donne à la Terre la forme d'un sphéroïde aplati vers les pôles. — Expérience qui rend sensible le phénomène de l'aplatissement de la Terre. Importance de cette découverte pour la Géographie et la Navigation. — Opérations des savans français qui confirment l'idée déjà formée de la figure de la Terre. Utilité qu'on en retire pour les Sciences. — Moyen de déterminer l'intensité de la pesanteur dans un lieu quelconque du globe. — Du Pendule. Ses formes diverses. Ses propriétés fondamentales.

Affaiblissement de la gravité causé par la force centrifuge.

258. Dans tous les lieux de la Terre, la pesanteur est contre-balancée par la force centrifuge; en effet, cette planète faisant chaque jour une révolution sur son axe *, toutes les parties matérielles

---

* L'*axe* de la Terre est le diamètre PP′ (fig. 70), autour duquel elle tourne; les extrémités P et P′ sont respectivement le *pôle boréal* et le *pôle austral*. La rotation *diurne* de la terre se fait en 23 heures 56′ 4″.

Le plan qu'on imagine mené par le centre de la Terre perpendiculairement

qui la composent décrivent des cercles, et toutes par conséquent sont soumises plus ou moins à la force centrifuge, selon la grandeur des cercles qu'elles parcourent. Cette force est donc nulle aux deux *pôles* et dans toute la longueur de l'axe qui les joint; chaque point de la surface terrestre est d'autant plus poussé par elle, qu'il se trouve plus éloigné de ces deux points extrêmes; enfin sous l'*Équateur*, cercle situé à égale distance des pôles, elle est plus grande que partout ailleurs, d'après le principe établi N° 251. L'effet total de la force centrifuge étant de tendre à écarter les corps du centre des cercles qu'ils décrivent, une partie de cette force est partout opposée à la pesanteur qui, dans tous les lieux, tend à les faire précipiter vers le centre de la terre; et cette partie de la force centrifuge opposée à la pesanteur est d'autant plus grande qu'on approche davantage de l'Équateur : d'abord parce que les cercles décrits sont plus étendus, ensuite parce qu'à mesure qu'on s'avance vers l'Équateur, l'action de cette force devient plus directement opposée à celle de la pesanteur.

La force centrifuge diminue donc la pesanteur d'autant plus dans chaque lieu, que ce lieu est plus près de l'Équateur, et la pesanteur, ainsi altérée, doit sembler moindre à l'Équateur que sous les pôles, et aussi plus petite dans les lieux qui avoisinent l'Équateur que dans ceux qui s'en éloignent davantage. C'est ce que l'on observe au moyen d'horloges construites avec exactitude; car on les voit constamment avancer quand on les transporte des régions équatoriales dans nos climats.

Détermination de la figure de la Terre.

259. En comparant la quantité de la force centrifuge avec la pesanteur, le célèbre Newton trouva que, sous l'Équateur, elle en était la *deux cent quatre-vingt-neuvième* partie.

Considérant ensuite que les eaux de la mer se tiennent en

à l'axe PP', est le *plan de l'Équateur* : il coupe la surface terrestre suivant un grand cercle E*n*E'*m*E qui prend lui-même le nom d'*Équateur*. Tous les petits cercles parallèles à l'Équateur se nomment *parallèles*; tels sont ARA'ZA, *ara'za*. Les grands cercles, comme PAP'*a*'P, PRP'R'P, qui passent par les pôles, s'appellent *méridiens* : le *premier méridien* est celui d'entre eux auquel on rapporte les différens points de la Terre. Enfin, le nombre de degrés de l'arc AR est la *longitude* du point R rapporté au cercle PAP'*a*'P, considéré comme premier méridien, et la distance R*n* de ce point R à l'Équateur E*n*E'*m*E en est la *latitude* : ces deux distances déterminent et fixent la position d'un lieu sur la surface du Globe.

équilibre par toute la terre; et concevant celle-ci comme formée d'une matière homogène et fluide, ou qui l'avait été primitivement, il entreprit d'en déterminer la figure d'après cette idée.

Pour que cette matière fluide qui compose la terre fût en repos, et que les eaux ne coulassent d'aucun côté, il fallait que le poids de la colonne qui va du centre à l'Équateur fût égal au poids de celle qui va du centre à l'un ou l'autre pôle, afin que ces deux colonnes, qu'on peut supposer comme renfermées dans des tuyaux qui se communiquent au point central, se soutinssent l'une et l'autre et restassent en équilibre; mais la colonne qui répond à l'Équateur étant formée d'une matière que la force centrifuge avait rendue plus légère que celle de la colonne qui répond au pôle, il fallait que la première fût plus longue que la seconde; ce qui rendait la Terre aplatie.

Il résulte de ces considérations que, par l'effet seul de la force centrifuge qui se trouve, dans les régions équatoriales, plus grande et plus directement opposée à l'action de la pesanteur que partout ailleurs, les corps doivent y être moins pesans, et que la Terre doit s'y trouver renflée.

C'est aussi ce que confirme l'observation, non-seulement pour la Terre, mais encore pour tous les corps célestes qu'on a reconnus être renflés à leur équateur, et aplatis à leurs pôles de rotation.

Il est à remarquer que, si la diminution de la pesanteur à l'équateur cause le renflement de la Terre en ce lieu, ce renflement à son tour devient lui-même la cause de la décroissance de la pesanteur.

Preuve expérimentale de l'aplatissement de la Terre vers les Pôles.

260. On peut rendre sensible le phénomène de l'aplatissement des pôles et du renflement à l'équateur, au moyen d'un instrument fort simple, représenté par la figure 71. Il consiste en un ressort d'acier très-flexible auquel on donne la forme circulaire en réunissant ses deux bouts par un anneau *a*. Ce cercle est traversé diamétralement par une tige de métal pp' qui lui sert d'axe: l'extrémité inférieure p' est à la fois fixée au cercle et à une poulie *r* tellement disposée sur un plan horizontal AB, qu'une corde qui l'enroule et passe dans une roue plus large R, l'assujétit à tourner avec celle-ci; l'autre extrémité *p* traverse l'anneau *a* qui peut glisser librement sur l'axe, attendu l'extrême flexibilité du ressort.

Lorsqu'on fait tourner la grande roue, le mouvement qu'on lui imprime se communique à la poulie *r* et à l'axe pp', qui emporte

avec lui le cercle *m'm*, et développe dans tous ses points une force centrifuge qui tend à les éloigner de lui dans le sens horizontal. Mais la longueur du ressort qui forme ce cercle *mm'm*, considéré comme un *méridien*, étant invariable, son diamètre horizontal *ee'* ne peut s'agrandir sans que le vertical *aa'* se raccourcisse et fasse ainsi glisser l'anneau vers l'extrémité inférieure de l'axe. C'est en effet ce qui arrive lorsqu'on met l'appareil en mouvement; le sphéroïde que le ressort circulaire figure pendant l'action, se renfle à son équateur *ehe'h'*, s'aplatit à ses pôles *p*, *p'*, d'autant plus que la rotation est plus rapide.

On rend ce fait très-apparent, en plaçant sous l'anneau mobile *a* une petite rondelle de drap enfilée dans l'axe, et que l'anneau pousse devant lui jusqu'au point qui limite son abaissement.

Opérations qui confirment l'idée déjà formée de la figure de la Terre.

261. L'importance qu'il y avait de connaître la vraie figure de la Terre, détermina le Gouvernement français à charger les savans de mesurer le Méridien qui passe par Paris, pour s'assurer si les degrés seraient d'une longueur égale depuis le *Nord* jusqu'au *Sud*.

Il envoya donc un grand nombre de mathématiciens à l'équateur et au pôle, pour y mesurer deux des degrés les plus opposés de la Terre, ceux par conséquent où la différence devait être le plus sensible. Cette entreprise fut exécutée avec tout le soin qu'elle exigeait : les savans du pôle ne pouvaient s'entendre avec ceux de l'équateur, et ni les uns ni les autres n'avaient d'opinion arrêtée sur la question qu'ils devaient décider, puisqu'auparavant le célèbre Cassini avait trouvé, par six opérations faites en 1701, 1713, 1718, 1733, 1734, 1736, et dont chaque résultat fut toujours contraire à celui auquel conduit la théorie de Newton, que *la Terre était allongée vers les pôles*.

Nos mathématiciens, ayant terminé leur travail, obtinrent cette fois un résultat exactement conforme à celui donné par la théorie : le degré mesuré au pôle boréal fut trouvé beaucoup plus grand que celui mesuré à l'équateur; et on en conclut que la Terre, au lieu d'être un globe parfait; ou tel que Cassini l'avait déterminé, devait être un peu aplatie vers les pôles.

Ainsi la figure de la Terre fut dès lors irrévocablement fixée, et tous les savans s'accordent depuis à la considérer comme celle d'un sphéroïde un peu aplati aux deux pôles. Cependant, désirant ne laisser aucun doute sur la solution de cet important problème, et pour se former une idée d'autant plus exacte de cette surface que les

observations auront été plus répétées et faites avec soin, tous les peuples civilisés des quatre parties du monde se sont entendus pour recommencer cette grande opération, qui, déjà terminée au Pérou, en Pensylvanie, en Italie, en France, en Suède, et au Cap-de-Bonne-Espérance, donne l'espoir que le résultat auquel on arrivera confirmera celui de nos grands mathématiciens.

Les résultats obtenus jusqu'à présent, ont conduit à $\frac{1}{305}$; c'est-à-dire que le rayon du pôle se trouve moindre que celui de l'équateur de la *trois cent-cinquième partie* de ce dernier.

Utilité qu'on retire pour les sciences de la connaissance de la figure de la Terre.

262. La détermination de la figure de la Terre est spécialement utile à l'avancement de la Géographie et de la Navigation.

En effet, il était d'autant plus important de fixer avec exactitude la position des lieux sur les cartes, que les navigateurs sont obligés de la connaître par les degrés de *longitude* et de *latitude* auxquels ils correspondent; et on ne pouvait avoir la vraie distance qui existe entre deux points du globe qu'avec une mesure exacte de la longueur des degrés qui les séparent.

Supposons, par exemple, qu'un certain lieu soit séparé d'un autre par 20 degrés au nord, près d'un des pôles; son éloignement sera plus grand que s'il en était distant de 20 degrés vers l'équateur, et le navigateur, qui se dirige de l'un à l'autre, devra, avant d'arriver, compter un plus grand nombre de lieues dans le premier cas que dans le second.

On sait combien il est nécessaire, dans les voyages maritimes, de connaître d'une manière sûre la position des terres qu'on doit rencontrer dans sa route. S'il s'agit d'un écueil, par exemple, il y va du salut du navire et de tout l'équipage; or, il ne faut pas croire que la différence soit si petite qu'on puisse la négliger, ou qu'elle se perde dans les autres erreurs de la navigation, telles que celles produites par l'incertitude du sillage, de la dérive et de la variation. Sur un seul degré, l'erreur peut aller jusqu'à une demi-lieue, et sur plusieurs degrés, les erreurs deviennent si considérables que, quand on navigue sur des parallèles éloignés de l'équateur, sans tenir compte de la veritable figure de la Terre, on pourrait se tromper de deux degrés sur cent; de sorte qu'on se croirait éloigné de 40 lieues de l'écueil, quand le vaisseau serait dessus et en danger de périr.

Si un pilote donnait à la terre la figure qui résulte des mesures de Cassini, et qu'en partant d'un lieu, il eût appris qu'à 20 degrés

de là il dût trouver un écueil à éviter, il croirait ne devoir le toucher qu'à 400 lieues du point de départ; mais la vérité est qu'il le rencontrerait après en avoir fait seulement 391, et qu'il aurait pu échouer contre lui au moment où il aurait cru en être encore éloigné de 9 lieues, parce que sur une distance de 20 degrés l'erreur peut s'élever à 9 lieues.

263. Ces exemples sont plus que suffisans pour faire connaître de quelle importante pratique est la connaissance de la figure de la Terre, puisqu'elle sert non-seulement à diminuer le péril de tant d'hommes qui, pour être utiles, confient chaque jour à la mer leur fortune et leur vie, mais encore à éclairer un des points fondamentaux de la Physique, dont nous verrons de nombreuses et intéressantes applications dans la suite de ce Cours.

Détermination de l'intensité de la pesanteur dans un lieu quelconque de la Terre.

264. Nous avons vu que la pesanteur n'a pas la même intensité dans tous les lieux de la Terre (258), qu'elle est la plus grande possible aux pôles et la plus faible à l'équateur.

Pour déterminer l'intensité relative de cette force dans un lieu intermédiaire, il suffit de laisser tomber un corps, tel qu'un morceau d'or ou d'argent, et de mesurer l'espace qu'il parcourt pendant la première seconde de sa chute. A la latitude de Paris, par exemple, on trouve que cet espace est environ 49 *décimètres*. Ainsi, pour cette ville et tous les lieux qui ont la même latitude, on peut en conclure qu'un corps, soumis librement à l'action de la pesanteur, parcourt 49 décimètres dans la première seconde de sa chute.

265. Ce résultat donne le moyen de trouver, sur tous les points du parallèle de Paris, l'espace que franchit un corps dans un temps donné; car, en vertu du premier principe établi N° 250, on l'obtiendra toujours en calculant le quatrième terme de la proportion,

1, quarré d'une seconde : quarré du nombre de secondes donné :: $49^{d.m.}$: x, espace cherché;

ce qui conduit à $x = 49^{d.m.} \times$ le quarré du nombre de secondes.

En sorte qu'on aura l'espace parcouru en multipliant 49 décimètres par le quarré du nombre de secondes donné.

Application.

Connaissant la distance que parcourt un corps dans un nombre de secondes déterminé, on peut trouver la hauteur d'un édifice par la considération du temps qu'un corps met à tomber du sommet jusqu'à son pied : le quarré

du nombre de secondes pendant lesquelles aura duré la chute, étant multiplié par 49 décimètres, ou 15 pieds, donnera pour résultat la hauteur cherchée.

Ayant observé qu'un corps met 5 secondes 18 centièmes pour tomber du haut de la flèche de la cathédrale d'Amiens jusqu'au sol, on en conclut que l'élévation de ce monument est de $\overline{5,''18}^2 \times 49^{\text{d.m.}} = 132.^{\text{m}}$ ou de $\overline{5,''18}^2 \times 15^{\text{pi}} = 402^{\text{pi.}}$

La profondeur d'un précipice s'obtiendra par le même moyen, c'est-à-dire en comptant combien de secondes une pierre, par exemple, emploie pour arriver de son bord supérieur au fond, et en multipliant le quarré de ce nombre par 49 décimètres.

LEÇON XVII[e].

SUITE DE LA PESANTEUR.

Du pendule. Ses propriétés fondamentales. — Lois des oscillations du pendule, démontrées par l'expérience. — Usages du pendule. Application de cet instrument aux horloges; au *Métronome;* aux *Chronomètres,* à l'aide desquels on détermine la longitude en mer; à la recherche de l'intensité et de la variation de la pesanteur. — Comment on retrouve, avec un pendule, la longueur de la principale unité de notre nouveau système de mesures.

Du Pendule.

266. Le ***Pendule*** ordinaire est une boule pesante L suspendue par un fil très-fin attaché à un point fixe B (fig. 72).

267. Cet instrument varie de forme et de longueur suivant l'usage qu'on en veut faire; on lui donne alors le nom de ***pendule composé.***

268. Le pendule qui sert aux expériences de Physique consiste en une boule de platine très-lourde (fig. 73), suspendue à un fil de cuivre assez gros seulement pour la soutenir sans se rompre. Ce fil tient à une petite calotte sphérique de même diamètre que la boule, et qui étant posée sur elle, après avoir été enduite intérieurement d'une matière grasse, y adhère avec une force suffisante pour que la boule ne tombe pas : l'extrémité supérieure du fil est attachée à un couteau d'acier poli, qui repose sur des plans d'agate aussi polis, de sorte que le frottement est sensiblement nul.

269. Le pendule qu'on emploie pour les horloges se compose d'une verge ou système de verges métalliques CA (fig. 74), au bras desquelles on fixe le corps L, aussi de métal et travaillé en forme d'une lentille, pour fendre l'air plus aisément et en éprouver moins de résistance. Le haut de la verge est traversé perpendiculairement

par un couteau d'acier poli, soudé avec sa masse même, et qui pose sur un plan ou dans une rainure également bien polie. Quand on veut mettre ce pendule en mouvement, on l'écarte un peu de la verticale et on le laisse retomber en vertu de son poids.

270. Revenons au pendule ordinaire pour en examiner les propriétés fondamentales, les usages, les applications; car le *pendule simple* n'est qu'un instrument facile à concevoir, sans doute, mais tout-à-fait idéal et impossible à construire, puisqu'il ne doit se former que d'un fil inextensible et sans pesanteur, à l'extrémité duquel serait fixée *une seule* molécule de matière pesante. Ainsi ce qui va suivre s'applique au plus simple des pendules composés.

Propriétés fondamentales du pendule.

271. Les propriétés fondamentales du pendule (fig. 72), sont:

1° De marquer la direction verticale qui est en même temps celle de la pesanteur (244);

2° De faire des oscillations planes, quand on l'écarte de la verticale et qu'on l'abandonne ensuite à lui-même sans aucune autre impulsion.

On observe cette dernière propriété en mettant le pendule dans une position quelconque BA, et le laissant tomber librement; alors on le voit descendre jusqu'en L, dépasser ce point, remonter de l'autre côté jusqu'en A′, en décrivant un arc LA′ égal à l'arc LA: ensuite il tombe de nouveau, arrive en L, remonte en A, et continue ainsi son mouvement pendant fort long-temps. Lorsque le pendule descend, sa vitesse va toujours augmentant jusqu'en L; quand il remonte, le contraire a lieu, elle décroît depuis le point L jusqu'à celui où il s'arrête.

Chaque mouvement de A en A′ ou de A′ en A, est ce qu'on appelle une *oscillation*.

L'*amplitude* de l'oscillation est l'arc AA′, mesuré en degrés, minutes et secondes.

La *durée* d'une oscillation est le temps que le pendule met à parcourir cet arc.

La *longueur du pendule* est la distance qui sépare le point de suspension B du centre de la boule, ou de la lentille L.

272. Si aucune cause étrangère n'altérait le mouvement du pendule, ses oscillations se reproduiraient perpétuellement, et seraient toutes égales et de même durée. Mais la *résistance de l'air* et le *frottement* qui a toujours lieu au point de suspension, ralentissent peu à peu ces oscillations et en rapprochent successive-

ment les limites A, A', jusqu'à ce qu'enfin le mouvement soit éteint et l'oscillation nulle.

Lois des oscillations du pendule.

273. Ne pouvant rigoureusement traiter ici la théorie du mouvement du pendule, nous nous bornerons à en rapporter les résultats les plus importans :

1° Lorsque l'extrémité du pendule décrit des arcs extrêmement petits, les oscillations sont sensiblement *isochrones*, c'est-à-dire qu'elles se font toutes dans le même temps.

2° La durée des oscillations est tout-à-fait indépendante du poids de la boule et de la nature de sa substance.

3° Deux pendules de longueurs différentes étant soumis à l'action d'une même pesanteur, les durées de leurs oscillations sont entre elles comme les racines quarrées des longueurs des pendules.

Ces lois, que l'on déduit des principes de Mécanique, se démontrent ici approximativement par l'expérience.

274. Pour démontrer la première, on compte plusieurs centaines d'oscillations : les unes au commencement, quand l'amplitude est de 4 ou 5 degrés ; les autres un peu plus tard, lorsqu'elles sont réduites à 2 ou 3 degrés ; et les dernières vers la fin du mouvement, quand elles ne sont plus sensibles à l'œil nu, et qu'il faut les fixer avec une lunette.

Dans cette expérience, on s'étonne d'abord que le pendule emploie presqu'autant de temps à parcourir un arc de $\frac{1}{10}$ de degré que celui de 10 degrés, qui est 100 fois plus grand ; mais on en conçoit facilement la raison, si l'on observe que, dans le second cas, la pesanteur lui imprime beaucoup plus de vitesse, parce qu'elle agit plus obliquement et d'une manière plus efficace.

Cette *loi de l'isochronisme* est une des premières découvertes de Galilée* ; elle confirme l'invariabilité de la pesanteur dans un même lieu.

275. Pour la seconde, on prend différentes boules de métal, d'ivoire, d'autres substances, dont on compose des pendules de même longueur, que l'on fait osciller ensemble, et on voit que tous

* On rapporte qu'étant très-jeune encore, Galilée vit par hasard, dans l'église métropolitaine de Pise, les balancemens d'une lampe suspendue à la voûte, et qu'il resta très-frappé des retours périodiques de ces mouvemens et de l'égalité de leur durée, ou, comme on le dit, de l'isochronisme des oscillations. Il n'en fallut pas davantage pour éveiller son génie, et cette observation d'un enfant devint la source des plus grandes découvertes.

restent d'accord pendant très-long-temps ; ce qui prouve que tous les corps acquièrent la même vitesse par l'action de la pesanteur.

276. La troisième loi se prouve avec des pendules de diverses longueurs : si, par exemple, on prend trois pendules dont les longueurs soient entre elles comme les nombres 1, 4, 9 ; alors les durées des oscillations doivent être dans le rapport des nombres naturels 1, 2, 3 ; et, en effet, si l'on fait osciller de tels pendules, soit en les suspendant au devant l'un de l'autre, soit en les ajustant par un double fil (fig. 75), on compte facilement que celui dont la longueur est 1, comparé à celui dont la longueur est 4, fait 2 oscillations pour *une*, et qu'il en fait 3 pour *une*, quand on le compare à celui dont la longueur est 9.

277. Les lois précédentes sont indépendantes de l'intensité de la pesanteur, et quand on a égard à cette force, il faut indispensablement recourir à la Mécanique, qui nous apprend qu'en soumettant un même pendule successivement à des pesanteurs d'intensités différentes, les durées des oscillations sont réciproquement proportionnelles aux racines quarrées de ces intensités.

Des usages du Pendule.

278. Le pendule sert à la mesure exacte du temps, à la construction du Métronome et du Chronomètre, à la détermination de l'intensité de la pesanteur pour chaque lieu terrestre, à s'assurer de la variation de cette force à différentes latitudes du globe, à retrouver la longueur du Mètre.

Application du pendule aux horloges.

Une horloge est formée par la réunion de plusieurs roues qui s'engrènent les unes dans les autres ; les nombres de dents de ces roues sont dans les rapports qui existent entre les divisions adoptées pour la mesure du temps. Ces roues sont tellement disposées qu'on ne peut communiquer le mouvement à l'une d'elles, sans que toutes marchent ensemble. On enroule autour de l'un des axes une corde à laquelle est suspendu un poids qui tend à faire tourner tout le rouage (fig. 76), et qui le ferait tourner précipitamment, si on ne régularisait sa marche par un pendule.

La roue à laquelle on adapte ce pendule est connue, en horlogerie, sous le nom de *roue de rencontre* * : elle est taillée différemment des autres, et de

* Cette roue porte ordinairement soixante dents, qui se dégagent successivement à chaque battement du pendule, comme il est expliqué ici ; elle fait donc un tour entier dans la durée de soixante battemens. Une aiguille fixée à son axe, traverse le cadran et y marque les *secondes*. Les autres roues sont mises en communication avec cette première roue, et le nombre de leurs dents

manière que son mouvement puisse être dirigé par deux palettes fixées au pendule modérateur. La figure 77 représente l'appareil; la partie CD est l'*échappement*. On voit, à la seule inspection de la figure, que, quand le pendule est dans une position verticale et en repos, les deux extrémités de l'échappement C, D, s'interposent entre les dents de la roue et en arrêtent le mouvement. Mais si l'on écarte tant soit peu le pendule de la verticale, la roue, devenue libre, obéit à l'action du poids qui l'entraîne, jusqu'à ce que le pendule l'arrête par l'interposition de l'échappement, quand il est au point le plus bas. Le pendule s'arrêterait encore si la vitesse acquise ne lui faisait parcourir un arc égal à celui qui a déjà été décrit; il s'échappe donc de nouveau, le poids fait tourner la roue, et ainsi de suite. Il est visible que, sans l'emploi du pendule, le mouvement du poids serait accéléré comme celui de tous les corps soumis à l'action de la pesanteur; mais le pendule, par son échappement, se remet continuellement dans l'état de repos: de sorte qu'il n'a jamais que la vitesse que lui imprime la pesanteur dans le petit intervalle d'une demi-oscillation. De plus, cette disposition permet de concevoir comment le pendule, malgré le frottement et la résistance de l'air, continue son mouvement, l'action du poids lui rendant, à chaque oscillation, la vitesse qu'il a perdue. La longueur du pendule est tellement déterminée que le temps d'une oscillation est une seconde.

La régularité de cet instrument ne serait pas parfaite, si l'on ne conservait à la tige la même longueur, malgré les variations continuelles de la température à la surface de la Terre: car on sait qu'une horloge retarde ou avance, selon que la tige du pendule s'allonge par la chaleur ou s'accourcit par le froid, les oscillations devenant alors plus lentes ou plus accélérées.

Or, on parvient à maintenir le pendule à une longueur invariable par un mécanisme ingénieux, qui consiste à attacher la tige SN (fig. 78) à un châssis de cuivre ABCD, entouré d'un autre châssis de fer EFGH; les branches de cuivre AB, DC, trouvant un obstacle à leur dilatation contre la branche de fer FG, se dilatent davantage par leur partie supérieure, et soulèvent par conséquent le point de suspension S. La dilatation du fer étant à celle du cuivre comme 3 est à 5, le point S s'élève plus qu'il n'avait été abaissé. On compense cette élévation, par tâtonnement, de manière qu'elle égale précisément l'abaissement produit par la dilatation du fer. L'appareil qui satisfait à cette condition, se nomme *pendule compensateur*.

Application du pendule à l'art du musicien.

On a donné le nom de *métronome* à un petit pendule destiné à indiquer le mouvement à suivre dans l'exécution des morceaux de musique. Comme ce mouvement varie de vitesse selon les différens morceaux, il était nécessaire de pouvoir varier la longueur du pendule, ou, ce qui revient au même, d'augmenter et de diminuer à volonté la durée des oscillations. Pour cela,

---

est proportionné de telle sorte que l'une, celle dont l'axe porte l'aiguille des *minutes*, tourne soixante fois plus lentement, et que la troisième, celle des *heures*, tourne douze fois moins vite encore que cette dernière.

on a prolongé sa tige *ac* (fig. 78 *bis*), au-dessus du point de suspension *a*, et on a chargé la partie supérieure d'un petit poids *b*, glissant à frottement sur *ab*. On conçoit que ce petit poids *b* ralentit ainsi le mouvement de la petite masse *c*, et qu'il le ralentit d'autant plus qu'il est plus éloigné de *a*. On peut donc obtenir des oscillations de la durée d'une seconde, et même de plus lentes encore, ou de plus vives, à la volonté du musicien.

Application du pendule à la Navigation.

C'est encore au pendule qu'on doit le mécanisme admirable de ces utiles instrumens connus sous le nom de *chronomètres*, au moyen desquels on détermine la longitude en mer. La nuit comme le jour, pendant le calme comme pendant la tempête, à la chaleur comme au froid, les battemens de ce précieux instrument se succèdent avec une uniformité imperturbable, tenant, pour ainsi dire, un compte exact des mouvemens du ciel et de la terre, et, au milieu des vagues de l'Océan, qui ne retiennent point de traces, il marque toujours la situation exacte du navire dont le salut lui est confié, la distance qu'il a parcourue, et celle qu'il doit parcourir encore. On montre l'usage du chronomètre en Astronomie.

Application du pendule à la recherche de l'intensité absolue de la pesanteur.

Déterminer l'intensité de la pesanteur pour un lieu quelconque de la Terre, c'est trouver l'espace que les corps abandonnés à eux-mêmes et soumis à l'action de cette force, parcourent dans ce lieu en un temps donné. Car le nombre de mètres qu'un corps parcourt dans une seconde, et le nombre des oscillations qu'un pendule, d'une longueur connue, décrit dans le même temps, dépendant l'un et l'autre de l'intensité de la pesanteur, puisqu'ils changent avec elle, on conçoit qu'il doit exister entre ces deux nombres une relation telle, que la connaissance de l'un conduise à la détermination de l'autre; et c'est effectivement au moyen du pendule qu'on a trouvé qu'à la latitude de Paris, les corps décrivent $4^{m}, 9044$ dans la première seconde de leur chute.

Application du pendule à la recherche de la variation de la pesanteur.

La variation de la pesanteur à différentes latitudes du globe se confirme encore au moyen du pendule.

En 1672, Richer s'aperçut qu'une horloge qui avait été réglée à Paris, oscillait plus lentement ou retardait à Cayenne; chaque jour, d'une quantité constante; d'où il conclut que l'intensité de la pesanteur y était moindre. La Condamine et Bouguer s'assurèrent aussi de la même variation à St.-Domingue, à Quito, etc.; un pendule qui faisait, au bord de la mer, 98770 oscillations en 24 heures, n'en effectuait plus que 98720 dans le même temps, sur le *Pichincha*, l'une des plus hautes montagnes de l'Amérique méridionale. Cette observation

importante a été depuis confirmée par un grand nombre de voyageurs; et il est bien constaté aujourd'hui qu'à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, on est obligé de donner plus de longueur au pendule, pour avoir des oscillations d'égale durée. Il en résulte que la pesanteur s'accroît de l'équateur aux pôles; car, puisqu'on allonge le pendule, les oscillations se ralentiraient si son intensité restait la même.

TABLEAU DE LA VARIATION.

Latitudes.		Longueurs du pendule.
Équateur	0°	0,m 990925
	20°	0, 991528
Paris	48° 50′ 14″	0, 993846
	60°	0, 994791
	80°	0, 995924

Remarque. C'est par des observations de ce genre qu'on a reconnu que la valeur absolue de la pesanteur augmente de $\frac{1}{175}$ de l'équateur aux pôles; ce nombre est supérieur à $\frac{1}{289}$, qu'on a trouvé en considérant l'influence de la force centrifuge sur l'intensité de la pesanteur. Ce fait prouve donc, de la manière la plus évidente, que le diamètre de la terre à l'équateur est plus grand que celui des pôles *. Ainsi, deux causes tendent à affaiblir l'action de la pesanteur à l'équateur, une plus grande force centrifuge et un plus grand éloignement du centre du globe.

Usage du pendule pour retrouver la longueur du mètre.

Le pendule peut être employé utilement, lorsqu'on possède une montre bien réglée, pour retrouver la longueur du *mètre*, notre principale unité de mesure.

Supposons qu'on ait observé dans un temps déterminé, une heure, par exemple, le nombre des oscillations d'un pendule de la longueur d'un mètre. Réciproquement, si l'on cherche par des essais quelle est la longueur qu'on doit donner au pendule pour qu'il reproduise le même nombre d'oscillations en une heure, cette longueur exprimera le mètre.

---

* A l'équateur, le diamètre de la terre est de 12753968 mètres; celui des pôles n'en contient que 12712648.

LEÇON XVIIIe.

SUITE DE LA PESANTEUR.

Ce qu'on doit entendre par centre de gravité. Moyen mécanique de trouver celui d'un corps de figure quelconque. — Méthode géométrique employée pour obtenir le centre de gravité des lignes, surfaces et solides, en les supposant composés de matière homogène. — Recherche du centre de gravité des corps mixtes ou renfermant des substances d'inégales densités. — De l'équilibre des corps solides. — Équilibre sur un point. — Exemples du mouvement oscillatoire. Applications diverses de ce mouvement. Application à quelques jeux mécaniques. — Équilibre sur deux points. Application au chargement des voitures à deux roues. — Équilibre sur une base quelconque. Application à la marche et aux différentes positions de l'homme, aux porteurs de fardeaux, aux exercices d'équilibre, aux Métiers et aux Arts. — Phénomènes singuliers relatifs au centre de gravité.

Du centre de gravité.

279. Un corps pesant, quelles qu'en soient les dimensions, peut être considéré comme un assemblage d'un grand nombre de points matériels, dont chacun est sollicité par la pesanteur.

Toutes ces forces pourraient être remplacées par une force unique (161), appliquée à un certain point; c'est cette force, qui ne serait autre chose que la résultante de toutes les actions de la pesanteur, qu'on nomme *le poids* d'un corps, et c'est le point où elle devrait être appliquée que l'on appelle son *centre de gravité.*

Ainsi, on peut dire que le *centre de gravité* est un point tel que, quand il est soutenu, le corps entier reste en repos.

C'est à Archimède que l'on doit la découverte du centre de gravité; plusieurs habiles géomètres se sont occupés ensuite d'en déterminer la position, soit dans les lignes, soit dans les surfaces, soit dans les solides. Euler, considérant qu'elle ne dépend que de la figure des corps, nommait ce point *centre d'inertie.*

280. La verticale qui passe par le centre de gravité se nomme *ligne de direction;* parce que c'est en effet la résultante de la direction, ou la ligne suivant laquelle le centre de gravité du corps tend à se précipiter vers la terre.

281. Dans un corps pesant, dont les dimensions ne sont pas de quelques centaines de mètres, les actions que la pesanteur exerce sur chacune de ses molécules peuvent être prises pour parallèles, puisqu'elles sont toutes dirigées vers le centre de la terre et qu'elles se trouvent à un grand éloignement de ce point; de plus, elles

sont égales, puisque ces molécules tombent toutes aussi vite dans le vide. Ainsi, le *centre de gravité* n'est autre chose qu'un *centre de forces parallèles et égales.*

De là résulte une propriété caractéristique du centre de gravité : c'est que ce point est fixe dans l'intérieur des corps solides, et ne change pas, quelle que soit la position qu'on leur donne à l'égard de la pesanteur.

Par exemple, le point G étant le centre de gravité du corps ABC quand le point C est en haut (fig. 79), il sera encore le lieu du centre de gravité quand le point C sera en bas, ou dans toute autre position qu'on pourrait lui donner; car le point d'application de la résultante des forces parallèles est indépendant de la direction de ces forces (167).

282. Pour empêcher un corps d'obéir à l'action de la pesanteur, il suffit d'en soutenir le centre de gravité, ou d'y appliquer une force égale et directement opposée à la résultante. Si le corps est suspendu librement dans l'air, le point d'appui pourra être considéré comme une force égale à celle de la pesanteur; mais pour que l'équilibre existe, il faut en outre qu'elle lui soit directement opposée. Le corps oscillera donc jusqu'à ce que sa direction passe par le point d'appui; il sera alors entre deux forces égales et directement opposées.

On voit par là que la même verticale passe à la fois par le point d'appui et le centre de gravité; ce qui fournit un moyen simple d'obtenir expérimentalement la position de ce dernier.

Moyen mécanique de déterminer le centre de gravité d'un corps.

283. On suspend par un des points C de sa surface (fig. 80) le corps dont on veut connaître le centre de gravité, et, quand il est en repos, on marque avec toute l'exactitude possible le point *m* où le prolongement de la verticale vient percer la surface inférieure; on recommence l'expérience pour un autre point A, en marquant de même le point *m'* correspondant; de cette manière on a deux lignes C*m* et A*m'* dans chacune desquelles se trouve le centre de gravité, et leur rencontre G en détermine conséquemment la position.

Méthode géométrique en usage pour obtenir exactement le centre de gravité.

284. D'abord nous supposons que les corps sur lesquels on opère sont *homogènes*, c'est-à-dire de même substance, ou composés de

parties également pesantes. Cette qualité n'existe pas dans la nature, mais la plupart des corps en approchent assez pour que cette hypothèse soit permise.

285. Maintenant examinons le lieu où réside le centre de gravité dans les diverses figures matérielles, telles que les lignes, les surfaces et les solides, représentées par des fils, des lames et des volumes de substances pesantes.

Du centre de gravité des lignes.

1° Une ligne droite AB (fig. 81), représentée par un fil métallique, partout également pesant, a son centre de gravité G placé au milieu de sa longueur. Car si l'on suspend la droite par son milieu, il n'y aura pas de raison pour que l'un des côtés l'emporte sur l'autre.

2° Le centre de gravité du contour d'un polygone régulier se trouve généralement au centre du polygone.

3° Celui d'une circonférence de cercle, ou du contour d'une surface elliptique, est au centre de l'une ou l'autre courbe.

Du centre de gravité des surfaces.

1° Le centre de gravité G d'un *triangle* quelconque ABC (fig. 82), est placé sur la ligne droite Am menée du sommet A au milieu m de la base BC, et aux $\frac{2}{3}$ de Am, à partir du point A.

En effet, menant la droite Am, du sommet A au milieu m de la base BC, elle divisera en deux parties égales toutes les lignes parallèles à BC; donc le centre de gravité de chacune d'elles se trouve sur la ligne Am; et comme on peut les multiplier assez pour qu'elles se touchent et que leur ensemble compose la surface ABC, il en résulte que le centre de gravité de ce triangle est évidemment sur Am. Par la même raison, le centre de gravité de ABC est aussi dans la ligne Bn, menée de l'angle B au milieu n du côté opposé AC. Ce point devant être à la fois sur Am et Bn, se trouve nécessairement à l'intersection G de ces droites; mais, après avoir tiré mn, qui est parallèle à AB, les triangles semblables mnG, AGB, donnent la proportion

$$AB : mn :: AG : Gm,$$

dans laquelle, observant que $AB = 2mn$, on en conclut que $AG = 2mG$, et conséquemment que le point G est situé aux $\frac{2}{3}$ de la droite Am, menée du sommet d'un des angles A au milieu du côté opposé BC.

2° Le centre de gravité d'un *quarré*, d'un *rectangle*, d'un *losange* ou d'un *parallélogramme* est à l'intersection de ses deux diagonales, ou au milieu de l'une d'elles.

3° Celui d'un *trapèze* ou d'un *quadrilatère* quelconque *abcd* (fig. 83), est au point d'application G de la résultante de deux forces parallèles $F = abc$, $F' = acd$, fixées aux extrémités g et g' de la droite gg' qui joint les centres de gravité des deux triangles composant l'une ou l'autre surface.

4° Pour trouver le centre de gravité d'un polygone rectiligne quelconque, il faut le décomposer en triangles, chercher le centre de gravité de chacun d'eux, ce qui réduit le système à autant de forces qu'il y a de triangles, et que l'on suppose appliquées à leur centre de gravité respectif; déterminer ensuite le point d'application d'une résultante unique équivalente à toutes ces forces parallèles (167), et ce point sera le centre de gravité du polygone proposé.

C'est ainsi que le point G est le centre de gravité du polygone *abcdef* (fig. 84), d'abord décomposé en quatre triangles *abf*, *fbe*, *ebd*, *dbc*, qui ont pour centres de gravité respectifs les points g, g', g'', g''', dont les forces équivalentes, ramenées au système de deux autres ayant leurs points d'application en A et A′, déterminent enfin le point G (3°).

Pareillement, la situation du centre de gravité du pentagone *abdef*, qui est joint à la figure 84, se trouve en G.

5° Le centre de gravité d'une surface *circulaire* ou *elliptique* se trouve au centre du cercle ou de l'ellipse, comme celui de la courbe qui la limite.

Du centre de gravité des solides.

1° Le centre de gravité d'une *pyramide triangulaire* SABC (fig. 85), est au point G situé sur la ligne Sg, menée de l'un quelconque S de ses angles au centre de gravité de la base opposée ABC, au *quart* de cette ligne, à partir de la base.

Une pyramide quelconque pouvant toujours se partager en pyramides triangulaires, on en tire cette conséquence, qu'en général, le centre de gravité d'une pyramide est situé sur la ligne qui joint son sommet avec le centre de gravité de sa base, et aux $\frac{3}{4}$ de cette ligne, à partir du sommet.

2° Celui d'un cube et de tout polyèdre régulier est au centre du solide.

3° Il en est de même de celui de la sphère, qui est aussi le centre de gravité de sa surface.

4° Celui d'un cône est situé, comme dans la pyramide, aux $\frac{3}{4}$ de l'axe, à partir de son sommet, et à $\frac{1}{4}$ en partant de la base.

5° Enfin le centre de gravité d'un polyèdre quelconque se trouve en décomposant le solide donné en pyramides triangulaires, et se conduisant par rapport à celles-ci, comme on le fait à l'égard des triangles d'un polygone dont on veut déterminer le même point.

Du centre de gravité des corps solides non homogènes.

286. Quand les corps sont composés de substances *hétérogènes* ou inégalement pesantes, leur centre de gravité ne se trouve plus coïncider avec le centre de leur figure. Si l'on prend, par exemple, une règle dont une moitié soit en bois léger et l'autre en métal, le centre de gravité ne sera plus au milieu; c'est ce qu'il est facile de sentir; et si l'on veut la faire tenir en équilibre sur un point, ou sur l'extrémité d'une aiguille, on ne placera pas l'aiguille sous le centre de la règle, mais bien à une certaine distance de ce centre,

qui correspond à la moitié en métal, parce que c'est dans celle-ci que se trouve le centre de gravité.

Pareillement, si l'on suppose une sphère parfaite dont une moitié soit en ivoire et l'autre en bois, le centre de gravité ne sera plus au centre de la sphère, mais se trouvera du côté de l'hémisphère en ivoire; et en général le centre de gravité se rapproche toujours de la partie où la matière est la plus dense; car il est le centre de matière qui peut, comme les deux exemples précédemment cités le prouvent, être très-différent du centre de figure.

287. En général, si le corps dont on veut trouver le centre de gravité est composé de plusieurs autres hétérogènes entre eux, alors on cherche le centre de gravité de chaque partie, en faisant entrer la densité dans l'estimation de la force appliquée au centre de gravité de chacune d'elles, ou, plus simplement, on le détermine par le moyen expliqué dans le N° 283.

De l'équilibre des corps solides.

288. On a vu, N° 282, que la seule condition d'équilibre d'un corps pesant est que son centre de gravité soit soutenu; mais cette condition se remplit de diverses manières, suivant que le corps est suspendu à des points fixes, ou posé sur des appuis.

Si l'aiguille AC (fig. 86), pouvait se mouvoir librement autour de son axe sur le cadran vertical MTSN, il faudrait, pour que son centre de gravité G fût soutenu, qu'il se trouvât dans le plan vertical passant par l'axe. Il n'y peut être que de deux manières, ou en G' au-dessous de l'axe, ou en G au-dessus : ce qui ne donne que deux positions d'équilibre. Dans le premier cas, on dit que l'équilibre est *stable*, parce qu'en écartant l'aiguille d'un côté ou de l'autre de sa position, elle tend à y revenir et finit par la reprendre. Au contraire, dans le second cas, on dit que l'équilibre est *instable*, parce que l'aiguille, pour peu qu'elle en fût écartée, ferait la bascule et n'y reviendrait jamais. Ce résultat est général : il y a toujours *stabilité* quand le centre de gravité se trouve *au-dessous* de l'axe, et *instabilité* quand il se trouve *au-dessus*. Entre ces deux positions, il n'existe point d'équilibre possible; et si l'aiguille est soutenue par son frottement contre l'axe, alors c'est l'axe lui-même qui est entraîné, comme cela arrive dans les horloges; et il l'est d'autant plus, que le centre de gravité se trouve plus éloigné de la verticale. Ainsi, avec une aiguille un peu pesante, dont le centre de gravité serait loin de l'axe, une horloge devrait avancer de midi à six heures, et retarder de six heures à midi.

Équilibre sur un point.

289. Un corps posé sur un plan horizontal et qui ne le touche que par un point, peut prendre aussi diverses positions d'équilibre. Dans ce cas, l'équilibre est stable, si la verticale qui mesure la distance de son centre de gravité G au point d'appui *p* est la plus petite possible, comme cela arrive pour un œuf posé sur le flanc (fig. 87) : alors, tout effort pour le déplacer, tendra à élever son centre de gravité, et le corps, abandonné de nouveau, reprendra sa position. L'équilibre est instable, si le centre de gravité est situé le plus haut possible, ainsi que le présente la situation d'un œuf posé sur sa pointe (fig. 88); ici le centre de gravité ne pouvant que descendre, le corps culbutera au moindre choc et ne se relèvera pas. Enfin la position d'équilibre est dite *indifférente* pour une sphère homogène placée sur un plan horizontal, parce qu'elle y est en équilibre dans toutes les positions : il en est de même pour un polyèdre régulier quelconque, par rapport à ses faces, le centre de gravité étant également éloigné de chacune d'elles.

Exemples du mouvement oscillatoire.

Un ellipsoïde placé sur une surface de niveau et soumis à l'action d'un choc convenable, oscille à la manière d'un pendule; parce que quand il s'éloigne de sa position moyenne, le centre de gravité s'élève, et par conséquent fait un effort pour retomber.

Le cheval à bascule des enfans, le berceau qui les reçoit pendant les premiers temps de leur existence, sont aussi des exemples du mouvement oscillatoire.

Et la nature en offre de bien plus curieux dans ces rochers mobiles qu'on rencontre çà et là le long des côtes de l'Angleterre : détachés sans doute dans l'origine par quelque convulsion terrestre, leur base, légèrement arrondie, repose sur un roc uni et bien horizontal, de telle sorte que la force d'un seul individu suffit pour les mettre en mouvement. Comme tout ce qui ne paraît pas ordinaire frappe le peuple, ces rochers sont devenus, dans les villages environnans, l'objet d'une vénération superstitieuse (Neil-Arnott).

Applications diverses du mouvement oscillatoire.

Le mouvement d'oscillation du pendule dépend de ce genre d'action, le centre de gravité cherchant continuellement à s'abaisser le plus possible.

On range dans la même classe les phénomènes suivans :

1° Le balancement ou la libration d'un aérostat qui commence à s'élever.

2° Le moyen qu'on a employé pour que les portes se ferment spontanément; et qui consiste à donner au gond supérieur une longueur plus grande qu'au gond inférieur; ces portes tendent alors à revenir à la position qu'on

désire qu'elles conservent, comme le pendule tend à revenir, en vertu de la gravité, au point le plus bas de l'arc qu'il décrit.

3° Les mouvemens de roulis ou de tangage d'un navire, suivant l'état du vent et de la mer. Lorsque la plus grande partie de la charge du navire est située près de la quille, le centre de gravité de l'ensemble est extrêmement bas, et, dans les gros temps, le mouvement oscillatoire devient excessif et très-dangereux.

Application à quelques jeux mécaniques.

1° Tout le mécanisme de ces petits hommes de bois ou d'ivoire, que nous voyons se tenir constamment sur un support dans toutes les positions où on veut les mettre, ne dépend que d'un contre-poids, qui, placé vers leurs pieds, fait que leur centre de gravité coïncide toujours avec le point d'appui.

2° On construit aussi de petits automates creux, appelés *cabrioleurs*, dans l'intérieur desquels on met un peu de mercure. Ce fluide, passant des pieds à la tête, change la position de leur centre de gravité, et les force à cabrioler le long d'un escalier.

3° Il existe un joli joujou chinois qui représente un *petit rieur* à face de moine, gros ventre, figure replète; il est accroupi sur ses pieds qu'on ne voit point, et la place qu'ils occuperaient est une surface arrondie et parfaitement unie, lestée par une petite balle de plomb qui tend toujours à relever le corps du rieur lorsqu'on l'incline. L'enfant qui pousse le petit homme, comme pour le faire asseoir, est toujours aussi surpris de le voir se relever, qu'amusé de l'expression grotesque de la petite figure qui semble gaiement le défier de parvenir à son but (Neit-Arnott).

Équilibre sur deux points.

290. Quand un corps est posé sur un plan par deux points, il faut, pour que l'équilibre ait lieu, que la verticale abaissée du centre de gravité tombe sur la ligne qui joint ces points et dans l'intervalle compris entre eux.

Application au chargement des voitures à deux roues.

Lorsqu'on charge une voiture à deux roues, la verticale qui passe par le centre de gravité doit tomber entre les roues et sur la ligne qui joint leurs points de contact avec le sol. Si elle tombe en avant ou en arrière, la voiture est trop chargée de l'avant ou de l'arrière; et comme cette voiture peut rouler sur des plans inclinés, où elle est retenue par le frottement, il faut, pour qu'elle ne verse pas, que la verticale du centre de gravité ne tombe pas hors de la ligne que limitent les points de contact des roues; ce qui est d'autant plus difficile que les roues sont plus élevées, et que la charge occupe un plus grand volume.

Une voiture verse aussitôt que la verticale *Gp* passe en dehors des roues (fig. 89). Plus donc une voiture est chargée en hauteur, plus son centre de gravité est élevé, et plus elle est disposée à verser. Aussi plus les roues sont basses, plus la voie est large, moins il y a de danger.

Équilibre sur une base quelconque.

291. Lorsqu'un corps est posé sur une base quelconque plus ou moins étendue, l'équilibre n'a lieu que quand la verticale du centre de gravité tombe dans l'enceinte de la base. On conçoit qu'il importe peu que cette base soit ou ne soit pas continue; dans le dernier cas, on achève son enceinte en menant des tangentes aux points extrêmes. Plus l'enceinte a d'étendue, plus le centre de gravité peut être déplacé, sans que le corps cesse d'être soutenu.

Applications à la marche et aux diverses positions de l'homme, aux porteurs de fardeau, aux exercices d'équilibre, aux métiers et aux Arts.

1° Ce n'est guères qu'à l'âge de dix mois ou un an, que l'enfant le plus précoce commence à marcher sans guide; il faut qu'il porte toute sa masse sur une base très-étroite quoiqu'en changeant constamment d'attitude. Il n'en est pas de même des petits quadrupèdes; ceux-ci s'appuyant sur une base très-étendue, comparativement à la hauteur de leur centre de gravité, marchent facilement pour la plupart, peu de jours après leur naissance.

La base de *sustentation* ou de *support* de l'homme se compose de ses pieds et de l'espace qu'il laisse entre eux. Il y a avantage à tourner un peu les pieds en dehors; par ce moyen on diminue la longueur de la base, mais elle est bien plus que compensée par la largeur qu'elle gagne.

S'il est difficile de marcher sur deux pieds, il l'est bien plus de marcher sur deux jambes de bois, dont les extrémités arrondies n'ont qu'une petite surface, et bien plus encore sur les échasses, comme le font les habitans des *Landes*, pays entre Bordeaux et Bayonne.

Les dames chinoises ont à acquérir cette habitude des habitans de ces plaines sablonneuses du sud-ouest de la France, car une coutume barbare, fondée sur la jalousie, a emprisonné leurs pieds pour la vie entière dans les souliers qui les chaussaient dans leur enfance.

2° Un homme chargé d'un fardeau doit se pencher en arrière lorsqu'il le tient devant lui, et se pencher en avant lorsqu'il le porte sur son dos, afin d'amener le centre de gravité commun de son corps et du fardeau dans l'aplomb de ses pieds, ou sa ligne de direction Gp dans l'enceinte de la base (fig. 90 et 91).

La position la moins pénible pour le porteur a lieu quand deux parties opposées de son corps se trouvent également chargées, comme l'indiquent les figures 92 et 93, qui représentent un homme chargé d'un bissac et un porteur d'eau.

Dans la course, le centre de gravité se trouve placé en avant de la base de sustentation; il faut donc à chaque instant ramener les pieds au-dessous de ce point, et avec d'autant plus de vitesse qu'on est plus incliné, c'est-à-dire qu'on court plus vite.

Lorsqu'un homme assis vient à se lever, il commence par pencher le haut du corps en avant, afin de ramener son centre de gravité au-dessus de l'espace

compris entre ses pieds. S'il n'a pas cette précaution, il retombe en arrière sur son siége, tendant les bras en avant, dans l'espoir de rétablir l'équilibre.

Un homme placé debout contre un mur vertical, les talons appuyés contre la base de ce mur, ne peut jamais parvenir à ramasser un objet qui repose sur le sol devant lui, sans tomber sur ses mains. En effet, le mur l'empêche de rejeter en arrière aucune partie de son corps, pour faire équilibre à la tête et aux bras, qui se projettent en avant. Il arrive souvent que des personnes n'hésitent point à faire le pari de ramasser ainsi une bourse qui contient l'enjeu; et toujours elles perdent indubitablement.

Dans la marche, le centre de gravité se porte alternativement sur le pied droit, puis sur le pied gauche; de sorte qu'il décrit une ligne ondulée. Deux personnes qui se donnent le bras, doivent conséquemment s'imprimer à chaque instant des secousses mutuelles, si elles n'ont pas l'attention de marcher au pas comme les soldats (Neil-Arnott).

3° Tous les jeux et exercices d'équilibre dont on amuse les curieux, roulent sur la dextérité avec laquelle on maintient la verticale du centre de gravité sur une base très-étroite. Tantôt la base est fixe et n'a d'étendue que quelques pouces de la longueur d'une corde assez mince ou d'un fil de fer, et alors il faut faire jouer le balancier pour ramener dans cet espace la verticale du centre de gravité; tantôt cette base est mobile, et il faut la faire mouvoir assez adroitement pour qu'elle se trouve sans cesse sous le centre de gravité, comme dans l'équilibre d'une canne ou d'une épée qu'on soutient sur le bout du doigt; enfin les deux difficultés se rencontrent à la fois, c'est alors que le danseur de corde montre tout son talent.

4° Un chariot chargé de métal ou de pierres, marche sans danger sur l'un des côtés d'une route en dos d'âne; le même chariot, chargé d'un poids moindre de laine ou de foin, verserait infailliblement.

La base de sustentation est bien la même dans les deux cas, mais on voit (fig. 94) que la ligne de direction qui part du centre de gravité du métal c, tombe dans les limites de la base, tandis que celle du centre de gravité de la charge de laine aP tombe au-delà.

Voilà pourquoi les diligences élevées sont si dangereuses, surtout lorsque elles sont extrêmement chargées par le haut. On conçoit aussi pourquoi il arrive tant d'accidens aux cabriolets élevés : une légère altération dans le niveau de la route, un tournant même suffisent pour amener la catastrophe, si la voiture marche avec rapidité. Les voitures dites de *sûreté* ont leurs roues fort écartées, et conséquemment une base très-large; de plus, les magasins pour le bagage et les siéges de ceux qui voyagent à l'extérieur ont été considérablement abaissés. Au lieu de se trouver à la partie supérieure de la voiture, on les a disposés à l'avant et à l'arrière, et aussi bas que possible.

5° Dans les différens métiers, la position du centre de gravité doit encore être une étude. Le support unique de certaines tables, des guéridons par exemple, se ramifie par le bas pour donner de la stabilité à l'ensemble, en élargissant la base de sustentation. Quelques chaises ont aussi une base bien plus large que le siége; ce sont celles sur lesquelles on assied les petits enfans pour qu'ils se trouvent à table à la hauteur de leur mère. Ces chaises deviennent dangereuses lorsque les pieds ne sont point très-écartés à leurs parties infé-

rieures : un mouvement brusque, une inclinaison très-grande de l'enfant, suffisent alors pour rejeter la ligne de direction hors du plan de la base.

Les chandeliers, les lampes, les vases, les candelabres et un grand nombre de meubles et d'ustensiles ne doivent leur stabilité qu'à une disposition analogue.

6° Les applications véritablement les plus utiles des conditions de l'équilibre, sont celles qui se présentent à chaque instant dans les Arts. Ceux qui ne les observent pas avec soin dans le Dessin et la Sculpture, par exemple, sont exposés à faire des figures qui tombent, ou des statues qui ont besoin de broches qui les traversent pour se tenir debout.

Les diverses attitudes du danseur sur nos théâtres semblent avoir pour but de montrer la variété infinie de position que peut prendre le corps humain en conservant toujours le centre de gravité au-dessus de la base. La célèbre statue du Mercure volant nous offre un exemple bien connu du gracieux équilibre. Mais, quel contraste ne remarque-t-on point, parmi les femmes, dit Neil-Arnott, entre cette beauté qui nous rappelle par sa démarche la Diane de la fable, et cette femme dont le pied pressant avec peine un tapis, se trouve obligée de traverser un trottoir sur lequel elle porte son corps comme une charge toute nouvelle et à laquelle elle ne semble point habituée.

Dans l'Architecture, c'est aussi de leur observation que dépend la plus ou moins grande stabilité et la hardiesse des diverses constructions.

La plus légère inclinaison d'un corps rétrécit la base de sustentation. De là vient la nécessité de disposer suivant le *fil-à-plomb*, instrument si simple et si utile, les murs si légers des constructions modernes, les cheminées, etc. Les murs de briques de nos maisons ont si peu d'épaisseur, que pour résister elles doivent s'appuyer les unes sur les autres ; quelqu'accident vient-il les isoler, elles n'offrent plus la stabilité nécessaire.

Il existe un grand nombre d'édifices qui sont plus ou moins inclinés, et qui ont une solidité parfaite malgré qu'ils semblent avoir été construits dans le but de surprendre et d'effrayer à la fois.

L'immense colonne de pierres, connue sous le nom de *Monument*, élevée à quelque distance du pont de Londres, est tellement inclinée, que quelques esprits timides commencent à craindre pour sa solidité quand le vent vient à souffler de certains points de l'horizon.

Beaucoup de tours et clochers très-élevés, entre autres celui de la cathédrale de Salisbury, qui est le plus haut de tous ceux de l'Angleterre, ont perdu quelque chose de leur verticalité, tout en conservant un aplomb suffisant pour se maintenir.

Enfin, les fameuses tours de Pise et de Bologne ont une stabilité nécessaire, quoique la première, élevée de 64 mètres, soit inclinée de 5 mètres, et que la seconde ait 3 mètres d'inclinaison, sur 43^{m} de hauteur : l'architecte a su ménager tellement la disposition des parties, que les lignes de direction de ces tours passent par leurs bases, en sorte que l'inclinaison de chaque tour ne fatigue nullement ses fondations.

Phénomènes singuliers dus à la position du centre de gravité.

1° Si un cylindre de bois (fig. 95), traversé d'une baguette de plomb *ab*, est placé sur un plan incliné *mn*, le plomb étant tourné du côté le plus haut,

on verra le cylindre monter de lui-même sur le plan et ne s'arrêter que lorsque le plomb arrivera à la partie inférieure. La raison en est que le centre de gravité, tendant toujours à descendre vers la terre, ne peut le faire ici qu'en élevant le reste du cylindre.

3° Que l'on place un corps M (fig. 96) au bas de deux tringles *ab*, *ac*, ouvertes et inclinées, le corps montera sur les tringles à mesure qu'on les écartera; car, le corps s'enfonçant successivement davantage entre elles, son centre de gravité *s'abaisse* tandis que le corps paraît *s'élever*.

D'après cela, on peut dire que le *centre de gravité* est le *centre des forces de la pesanteur;* on pourrait même supposer qu'elle n'agit qu'à ce point. Un corps *s'élève,* si son centre de gravité *s'éloigne* de la Terre; le corps *tombe,* si son centre de gravité *s'en approche,* quel que soit le mouvement des autres parties.

LEÇON XIXe.

SUITE DE LA PESANTEUR.

L'attraction sollicite tous les corps à s'approcher les uns des autres. Cette force s'exerce entre les corps terrestres, entre les corps célestes, à petites et à grandes distances, en modifiant son action suivant des lois constantes qui ont été déterminées par les plus célèbres physiciens. Newton réduit ces lois à ce grand principe : toutes les molécules de la matière s'attirent en raison directe de leur masse et en raison inverse du quarré de leur distance. — Application de l'attraction aux phénomènes que présentent les Marées. Explication des principes généraux sur lesquels elles reposent. Circonstances qui les modifient. Lieux où elles n'existent pas. Cause principale qui les produit. Leurs effets appliqués au travail de l'homme.—Idée de l'attraction moléculaire. Explication de cette propriété. Preuves expérimentales de son existence dans les corps solides, fluides et gazeux.—Application de l'action moléculaire aux Arts et aux Métiers.

De l'Attraction.

292. Considérée généralement, l'*Attraction* est la force en vertu de laquelle tous les corps de la nature s'attirent, ou tendent à se porter les uns vers les autres.

293. Cette force, que nous avons appelée *pesanteur* quand elle agit sur les corps terrestres, se désigne spécialement par le nom de *gravitation* quand elle s'exerce à des distances considérables, comme cela a lieu entre les corps célestes.

294. La force d'attraction étant inhérente à la matière, elle est exercée par toutes les molécules avec une égale intensité, de sorte que plus un corps en contient, plus il a de force attractive. Donc *l'attraction agit en raison directe des masses.*

Ainsi, le soleil ayant beaucoup plus de masse que toutes les planètes ensemble, il doit exercer une attraction plus grande que la leur. Il en est de même de l'attraction de la terre à l'égard de la lune, et de celle qu'exercent toutes les autres planètes sur leurs satellites.

295. Cette propriété, dont l'action paraît insensible entre les petits corps que l'on met en présence, s'exerce cependant à la surface de la Terre. On le prouve d'une manière évidente, en plaçant des corps dans le voisinage d'un autre corps assez volumineux pour que sa masse puisse être comptée pour quelque chose auprès de celle de la Terre; alors on voit celui-ci exercer son action attractive sur les plus petits. Ce fait a été constaté, d'abord, relativement à une très-haute montagne du Pérou, par les académiciens français qui allèrent y mesurer un degré du méridien; et ensuite par plusieurs autres savans, dont l'un ne s'est occupé que d'observations particulières pour mesurer l'effet de l'attraction des montagnes de l'Écosse. Enfin, des physiciens distingués ont pensé qu'on pouvait, même dans une chambre, remarquer, à l'aide de beaucoup d'attention, l'influence d'une grande masse pour attirer un corps léger, suspendu par un fil extrêmement mobile; et Cavendish, en 1798, parvint à mettre en évidence l'attraction mutuelle de tous les corps par une expérience fort simple que nous allons rapporter.

EXPÉRIENCE.

296. L'appareil employé par ce savant physicien consiste principalement en un levier horizontal *ab* (fig. 97), suspendu par son milieu *c'* à un fil métallique très-délié, vertical, non tordu, fixé en *d*, et portant à ses extrémités deux petites boules de métal d'égal volume. On place un globe de plomb M, d'environ un pied, près de chacune des boules, de manière à ce que les actions des deux globes se réunissent pour faire tourner dans le même sens les deux bras du levier. Dès que l'appareil est bien disposé, l'action des globes de plomb sur les petites boules se manifeste par un mouvement sensible imprimé au levier.

Densité de la Terre.

297. C'est encore à ce physicien que l'on doit la détermination de la densité moyenne de la Terre.

Connaissant le volume et la densité des boules et des globes de plomb employés dans l'expérience précédente, ainsi que le volume de la Terre, Cavendish trouva, par la comparaison du mouvement

du levier à celui qu'imprime la pesanteur à un pendule, que la densité moyenne du globe terrestre était égale à 5,49, ou à fort peu près cinq fois et demie plus pesante que l'eau.

Loi générale qui maintient l'harmonie de l'Univers.

298. On a vu que plus les corps renferment de matière, plus ils s'attirent; mais à mesure que deux corps s'éloignent, la force attractive diminue comme le quarré de leur distance, c'est-à-dire qu'elle agit *en raison inverse du quarré de la distance.*

Newton fit cette découverte, en cherchant l'espace que parcourrait la lune dans un instant déterminé, si elle était abandonnée à l'action seule de la Terre; et il vit ensuite, en comparant cet espace à celui que les corps parcourent dans le même instant à la surface terrestre, que l'intensité de la pesantenr ou de l'attraction de la Terre décroissait comme le quarré de la distance.

En réunissant ce principe au précédent, le philosophe anglais posa cette grande loi de la nature:

Toutes les molécules de la matière s'attirent en raison directe de leur masse, et en raison inverse du quarré de leur distance; ou en d'autres termes:

L'attraction agit sur tous les corps proportionnellement à leurs masses, et en raison inverse du quarré de la distance qui les sépare.

299. Partant de ce principe, Newton reconnut que tous les phénomènes du mouvement des corps célestes, les mouvemens des planètes autour du soleil, leurs rotations sur elles-mêmes, les mouvemens des satellites, ceux des comètes, étaient uniquement produits par une impulsion initiale, combinée avec l'attraction solaire.

Ainsi, comme la terre attire tous les corps à sa surface et entraîne la lune avec elle, de même le soleil attire notre globe et toutes les planètes, et les force à circuler autour de lui. Les corps célestes sont tous portés et poussés les uns vers les autres; et leurs forces attractives sont balancées avec tant de sagesse, qu'ils gardent chacun leur place et leur mouvement pour maintenir l'harmonie de l'Univers.

Application de la Gravitation aux phénomènes des Marées.

Deux fois par jour on observe dans toutes les mers, et d'une manière plus marquée dans l'Océan, que l'eau s'élève et s'abaisse par un mouvement d'oscillation assez régulier. L'eau monte d'abord pendant six heures, reste

12 à 13 minutes stationnaire, puis elle se retire peu à peu pendant 6 autres heures; de là, après un nouveau repos d'environ 13 minutes, l'eau recommence à monter, comme précédemment, durant 6 heures, s'arrête et redescend ensuite autant de temps. De sorte que, dans l'intervalle d'environ 24 heures 50 minutes, l'eau monte et baisse deux fois, et parvient alternativement à la plus grande et à la plus petite hauteur.

Ce sont ces mouvemens alternatifs d'augmentation et de diminution des eaux de la mer qu'on nomme le *flux* et le *reflux*, où la *marée*. Et, en particulier, le flux marque le temps où l'eau monte, le reflux indique celui où elle baisse.

La station du flux est le moment de la *haute mer*, celle du reflux offre celui de la *basse mer*.

C'est dans l'action que la lune et le soleil exercent simultanément sur notre globe que nous devons chercher l'explication des différens phénomènes des marées.

D'abord, la relation qui existe entre les mouvemens de l'Océan et ceux de la lune a été observée dès la plus haute antiquité; mais c'est Kepler qui reconnut le premier qu'ils étaient produits réellement par l'attraction de cet astre. « Si, dit-il, la terre cessait de retenir les eaux, l'Océan s'élèverait et » coulerait sur la lune : la sphère d'attraction de ce corps s'étend jusqu'à la » planète que nous habitons, et en attire les eaux. » Newton fit voir ensuite que la cause assignée par Kepler s'accorde avec ses lois de la gravitation universelle, et il expliqua à la fois la cause des marées sur les deux côtés de la terre opposés à la lune.

La durée du flux et reflux est, terme moyen, à peu près de 12 heures 25 minutes; mais le double de cette durée, ou 24 heures 50 minutes, forme la période d'un jour lunaire ou le temps qui s'écoule entre le passage de la lune au méridien et son retour au même point. Ainsi, la mer éprouve le flux aussi souvent que la lune passe au méridien, c'est-à-dire chaque fois qu'elle arrive à l'arc de ce cercle qui est au-dessus de l'horizon et à celui qui est au-dessous, et le reflux quand l'astre passe à l'horizon au moment de son lever ou de son coucher.

L'élévation des eaux sur le côté de la terre qui est immédiatement sous la lune, excède parfois celle qu'elle atteint du côté opposé; dans tous les cas, elle diminue de l'équateur aux pôles.

Le soleil élève et abaisse les eaux de la mer deux fois par jour, de la même manière que la lune; mais l'influence du premier de ces astres est, à cet égard, trois fois moindre que celle du second, ou dans le rapport de 1 à 3.

Il y a donc réellement deux marées, l'une causée par la lune, l'autre par le soleil. On leur a donné le nom de *marées lunaires* et de *marées solaires*. Les premières, environ trois fois plus grandes que les secondes, suivent le mouvement de la lune, et retardent, d'un jour à l'autre, de trois quarts d'heure. Celles qui suivent le mouvement du soleil, au contraire, répondent constamment aux mêmes heures du jour, et seraient sans cesse aperçues s'il n'y avait point de lune; dans l'état actuel des choses, souvent elles sont masquées par les autres. Mais quand il arrive que les deux astres agissent

ensemble dans le même sens, soit pour faire hausser, soit pour faire baisser la mer, son flux et son reflux se trouvent considérablement augmentés.

Lorsque l'une tend à élever la mer et l'autre à la faire baisser au même endroit, leurs actions se nuisent; et la marée lunaire, qui l'emporte cependant toujours sur l'autre, se trouve sensiblement affaiblie.

Les marées doivent donc être plus ou moins grandes, suivant que les deux actions agissent ensemble ou se contrarient. Or, comme dans les nouvelles lunes, le soleil et le satellite de la terre correspondent aux mêmes points du ciel (fig. 98), leurs effets étant parfaitement d'accord, le flux et le reflux sont alors les plus grands; la même chose doit arriver encore dans les pleines lunes, quand la terre est placée entre les deux astres (fig. 99), la lune se trouvant sur l'horizon tandis que le soleil est au-dessous; car l'action de chacun est absolument semblable, lorsqu'il passe directement au-dessous de l'horizon ou qu'il brille au-dessus de nos têtes.

Dans les premiers et les derniers quartiers, au contraire, le soleil et la lune se trouvent disposés de manière à ce que l'un tend à abaisser les eaux quand l'autre tend à les élever (fig. 100); d'après cela, il est évident qu'à ces époques le flux et le reflux doivent être très-peu sensibles : c'est aussi ce que confirme l'observation.

La grande force des marées dans le temps des équinoxes, vers la fin des mois de mars et de septembre, s'explique facilement par la présence, à ces époques, du soleil et de la lune à l'équateur. Or, le calcul prouve que l'action de ces astres doit se trouver augmentée; et, comme ils agissent tous deux dans le même sens, il en résulte des effets qui surpassent de beaucoup ceux qu'on remarque dans tout autre temps de l'année.

Comme la force moyenne avec laquelle la lune soulève la mer est à celle qu'exerce le soleil dans le rapport de 3 à 1; si ce dernier seul produit, ainsi qu'on le prétend, une marée de deux pieds, la lune en déterminera une de six : les grandes marées auraient donc huit pieds et les basses quatre.

Lieux où les marées se remarquent principalement.

Les phénomènes des marées s'observent dans les endroits où l'Océan est assez étendu pour admettre les mouvemens que l'action du soleil et de la lune tend à lui imprimer; mais ils sont fortement modifiés par les obstacles qui s'opposent au cours des eaux : tels sont la direction des vents; les détroits et les golfes; les caps, les baies et autres accidens que présentent les côtes; sur quelques-unes les marées sont faibles ou nulles, sur d'autres elles s'élèvent beaucoup au-dessus de la hauteur indiquée.

Les marées se font sentir à de grandes distances dans les fortes rivières; et au détroit de Pauxis, dans celle des Amazones, elles sont sensibles à deux cents lieues de la mer.

Il y a peu de marées dans les lacs, parce qu'ils sont généralement si petits que quand la lune est verticale, elle attire presqu'également toutes les parties des eaux, de manière qu'aucune ne paraît plus élevée que l'autre. Elle passe, du reste, si rapidement sur eux que l'équilibre n'a pas le temps de se troubler. La Méditerranée et la Baltique n'ont presque pas de marées, parce que les ouvertures par lesquelles ces mers communiquent avec l'Océan sont si étroites

qu'elles ne peuvent, dans un temps si court, recevoir assez d'eau pour que leur surface s'élève sensiblement.

Remarque. Dans l'explication des principes généraux sur lesquels reposent les marées, il ne faut pas oublier surtout que c'est l'inégalité de l'attraction de la lune sur les différentes parties du globe terrestre qui les produit, et qu'il n'y en aurait pas si cet astre agissait d'une manière uniforme sur toute l'étendue de l'Océan.

Effets des marées appliquées à nos travaux.

Les *marées* produisent des courans extrêmement rapides dans les parties les moins profondes de l'Océan; elles exécutent une grande partie du travail de l'homme; elles transportent ses vaisseaux le long des côtes ou dans les rivières, et cela, tantôt de l'embouchure vers la source, tantôt, en sens inverse, de là source vers l'embouchure; elles manœuvrent ses roues hydrauliques; elles remplissent en temps convenable ses canaux et ses bassins; elles s'élèvent pour recevoir les vaisseaux lancés de chantiers élevés, et pour les mettre à flot..... Quelle scène intéressante présente un grand port au moment où la marée monte ou descend! qu'il est curieux de voir des milliers d'hommes accourir sur le rivage et demander à la mer de les assister dans leurs occupations si diverses!

De l'Attraction moléculaire.

300. Lorsque les corps sont placés à une très-petite distance, ils s'attirent souvent avec une énergie capable de vaincre, non-seulement leur propre pesanteur, mais encore des forces beaucoup plus considérables. Cette attraction ne se manifeste presque qu'au contact et paraît n'exister qu'entre les molécules; c'est pourquoi on l'a désignée sous le nom d'*attraction moléculaire*, pour la distinguer de la *gravitation* et de la *pesanteur* qui agissent sur les masses à toutes les distances.

301. C'est cette attraction qui produit l'adhérence des corps qu'on applique les uns contre les autres; elle concourt avec la force répulsive de la chaleur à produire les divers états des corps, elle est la cause des phénomènes capillaires, et, en chimie, elle maintient réunies les molécules de nature différente après leurs combinaisons.

302. On ne connaît point les lois auxquelles l'attraction moléculaire est soumise; on sait seulement que cette force ne se manifeste qu'autant que les molécules sont à de très-petites distances, et qu'alors son intensité dépend de la nature des molécules, laquelle augmente avec une grande rapidité à mesure que la distance diminue.

303. La manière la plus simple d'expliquer l'attraction moléculaire est d'admettre que tous les points matériels jouissent de la propriété de s'attirer en raison directe de leur masse, et en raison inverse du

quarré de la distance. Dans cette supposition, l'attraction moléculaire devient le résultat de l'influence de la figure des molécules; ce qui satisfait à tous les phénomènes observés.

304. Pour expliquer, par l'influence de la figure des molécules, l'énergie des forces qui se développent dans les corps à une très-petite distance, il faut admettre que les densités des molécules sont incomparablement plus grandes que celles des corps qu'elles forment par leur réunion, et par conséquent, que la distance des molécules est beaucoup plus grande que leur diamètre; or, ces nouvelles hypothèses se confirment constamment sous nos yeux par la facilité avec laquelle nous voyons les fluides impondérables traverser tous les corps.

Ainsi, c'est l'attraction des points matériels qui paraît constituer l'attraction des molécules, qui, à de petites distances, donne naissance à l'attraction moléculaire; et enfin, c'est l'attraction des molécules, dégagée de l'influence de la figure, qui produit la pesanteur et la gravitation.

L'attraction moléculaire existe dans tous les corps.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE.

305. Lorsqu'on prend deux plaques de marbre ou deux glaces bien polies, qu'on les fait glisser l'une sur l'autre, en les pressant fortement, on observe qu'elles contractent une adhérence telle qu'il devient assez difficile de les séparer.

Cela tient à ce que chacune des surfaces ayant, dans ce cas, un grand nombre de points de contact communs, ou qui ne sont séparés que par une distance extrêmement petite, il en résulte une somme d'attractions partielles qui produit une adhérence très-sensible, que l'on peut comparer, en quelque sorte, à celle qui lie les molécules d'un même corps.

L'effet est le même à l'égard de deux lames d'un métal quelconque, bien dressées et polies du côté qu'on veut les joindre.

On rend l'adhérence des surfaces beaucoup plus forte quand on les enduit d'une légère couche de quelque matière grasse, avant de les appliquer l'une sur l'autre. Les molécules grasses se moulant parfaitement sur les corps, elles remplissent les petits intervalles qui se trouvent entre les deux surfaces, multiplient ainsi les points de contact et conséquemment le nombre des points attirans.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE.

306. Si l'on fait avancer lentement sur une table deux gouttes de mercure l'une vers l'autre, on les verra tout d'un coup, quand elles

seront parvenues à une petite distance, s'élancer et se réunir en une seule. La même chose a lieu encore pour deux gouttes d'eau, quoique l'effet ne soit pas aussi frappant, à cause qu'il est entravé par l'attraction que le bois exerce sur ce liquide.

TROISIÈME EXPÉRIENCE.

307. Versez de l'eau sur une table couverte de poussière, ou sur une surface grasse, vous la verrez se répandre aussitôt en petits globules.

Si, au lieu de ce liquide, vous jetez du mercure sur une feuille de papier, un plan de bois ou de marbre, l'expérience sera bien plus sensible.

C'est à l'attraction moléculaire que les liquides dispersés doivent cette propriété de former des globules, figure que l'on remarque encore très-évidemment dans les gouttes de pluie, de grêle, et dans celles de la rosée qu'on voit rouler sur les feuilles des végétaux, ou qui restent suspendues le matin à l'extrémité des petits poils dont les feuilles de certaines plantes sont couvertes.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE.

308. Pour démontrer que l'attraction moléculaire est une propriété commune aux gaz, comme aux solides et aux liquides, on remplit d'eau une fiole, on la chauffe, et l'on voit alors paraître, contre la paroi du vase et dans l'intérieur du liquide, des bulles d'air qui étaient d'abord invisibles, et qui, après avoir acquis un certain volume, viennent crever à la surface de l'eau.

De l'adhérence entre les molécules de nature diverse.

309. L'adhérence moléculaire ne s'exerce pas seulement entre les particules d'un même corps, elle a également lieu entre celles de corps différens : les expériences suivantes le prouvent.

EXPÉRIENCES.

1° Quand on plonge un tube de verre dans l'eau, en le retirant, on enlève une goutte de liquide qui reste suspendue à son extrémité; il faut donc qu'elle y soit liée par une attraction réciproque entre le tube et l'eau.

2° Si, après avoir suspendu un disque de métal ou de verre à l'aide d'un fil, on le place légèrement sur la surface d'un liquide, il y adhère avec force, et l'on sent cette adhérence par l'effort qu'il faut faire pour enlever le disque.

3° Si l'on mouille la toile d'un tamis, et qu'on le plonge ensuite horizontalement dans l'eau, on observe que l'air qu'il renferme

ne s'échappe plus par la toile, comme cela arrive quand elle est sèche.

L'effet de l'attraction moléculaire, dans ce cas, est donc de boucher les vides que les tissus présentent.

4° Lorsqu'on met des globules de mercure sur une lame de verre, ils y adhèrent : la même chose a lieu sur une feuille de carton, mais d'une manière moins intense ; de sorte que si l'on approche ces deux petits appareils l'un de l'autre, les globules quitteront le carton pour s'attacher au verre.

On voit par là que l'attraction moléculaire n'est pas la même pour tous les corps ; elle varie pour chacun d'eux.

Cette différence d'intensité explique clairement pourquoi tous les corps n'ont pas la propriété d'être mouillés par un liquide. Car, suivant que l'attraction est *faible* ou *forte*, le corps se *mouillera moins* ou *plus*; si elle est *nulle*, le corps restera *sec*.

Par exemple, l'attraction est faible entre le verre et le mercure; elle a toute sa force entre le mercure et le plomb; elle est nulle entre l'huile et l'eau.

310. Quelques physiciens modernes, pour distinguer l'attraction moléculaire qui s'exerce entre les molécules homogènes, de celle qui a lieu entre les corps de différente nature, ont cru devoir conserver à cette dernière le nom d'*affinité* employé autrefois pour désigner l'attraction moléculaire.

Application de l'attraction moléculaire aux arts et métiers.

1° La forme globuleuse que l'attraction moléculaire fait prendre aux liquides projetés ou répandus, a trouvé une application heureuse dans la fabrication du plomb de chasse. Pour l'obtenir, on fait passer le plomb en fusion à travers un crible, et on le laisse tomber d'une hauteur suffisante pour le coaguler dans sa chute.

2° La propriété que nous avons remarquée dans l'adhérence des liquides pour les tissus, a été appliquée très-avantageusement aux ailes de moulins à vent et aux voiles des navires. Quoique les toiles qu'on emploie pour ces objets soient d'un tissu très-serré, elles ne suffisent pas toujours pour arrêter l'air; mais si on les arrose, elles deviennent tout-à-fait imperméables à ce fluide, ce qui augmente leur résistance et leur effet.

3° Une application très-importante de l'attraction du verre pour le mercure combiné avec l'étain, est celle que nous offre l'étamage des glaces. Cette opération consiste à verser du mercure sur une feuille d'étain étendue horizontalement, à appliquer la glace dessus, et à la charger de poids, afin de la faire adhérer à l'amalgame qui se forme entre les deux métaux. Elle y reste ensuite indéfiniment unie, comme l'expérience le prouve.

LEÇON XXe.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES FLUIDES.

Division des Fluides en liquides et fluides élastiques. Comment s'exerce leur pression. Son effet sur le fond d'un vase. — Cause du bouleversement d'une partie de la surface de la Terre. — Principe de l'égalité de pression. — Équilibre des fluides homogènes. — Loi de la nature observée dans les tubes communiquans. — Application des propriétés des fluides à la construction des digues, au moyen de puiser l'eau à une grande profondeur de la terre, à l'ascension des liquides dans les tuyaux, à la conduite des eaux, à la construction des jets d'eau, au danger que l'on court dans la recherche des sources, à l'explication de divers phénomènes qu'offrent à la fois la Nature et les Arts. — Précautions utiles pour réussir dans l'art de conduire les eaux. — Du niveau d'eau. Son usage.

Des Fluides.

311. Les fluides ont été distingués en *liquides* et en *fluides élastiques*, suivant qu'ils subissent des changemens ou faibles ou considérables dans leur volume, pour des variations plus ou moins fortes de pression auxquelles ils sont soumis.

Le principal caractère d'un fluide se trouve dans la grande mobilité de ses molécules.

Pression des fluides.

312. Les fluides obéissent à la pesanteur comme les autres corps; mais les particules d'un solide frappent toutes ensemble, en concentrant leur effort au centre de gravité, tandis que celles d'un fluide exercent leur pression indifféremment et indépendamment les unes des autres, par le peu d'adhérence qu'elles ont entre elles.

EXPÉRIENCE.

313. On peut supposer que la masse d'eau contenue dans un vase ABCD (fig. 101), se divise en colonnes verticales, telles que *ef*, *gh*, *ik*, si le fond BC vient à s'ouvrir en *h*, la colonne qui n'adhère pas aux deux autres se précipite par cet orifice, et on n'aura que son poids à soutenir pour arrêter l'écoulement du liquide.

314. Les fluides exercent leur pression non-seulement de haut en bas, comme l'expérience précédente peut en convaincre, mais

encore de bas en haut, latéralement et dans tous les sens. C'est ce que nous allons démontrer par quelques expériences.

Pression latérale.

EXPÉRIENCE.

315. Lorsqu'on verse de l'eau dans une bouteille qui porte un orifice latéral *c* (fig. 102), le poids des parties supérieures force le fluide à s'élancer hors du vase.

Il est permis de considérer l'eau renfermée dans un vase ABCD (fig. 103), comme des amas de petits globules qui forment des colonnes horizontales et verticales.

La colonne *eg*, qui agit entre deux autres *gb* et *gc*, tend à écarter celles-ci de manière que le fluide s'écoule par une ouverture latérale pratiquée vers *b*, si on n'oppose une force égale à celle que produit *eg*.

316. La pression latérale dépend de la hauteur du liquide au-dessus de l'orifice, et la colonne horizontale *fh* ne serait chargée que du poids de *ef*, si l'ouverture était en *h*.

Ceci montre évidemment que le liquide s'écoulera avec une vitesse d'autant plus grande que l'ouverture *b* sera faite plus près du fond du vase.

Ainsi l'influence du poids d'un liquide fera varier sa pression, et lui donnera d'autant plus de force que sa hauteur sera plus grande : son effet sur le fond d'un vase dépendra donc aussi de la colonne liquide qui agit, ou qui le pousse, comme on le verra tout à l'heure (321).

Pression de bas en haut.

EXPÉRIENCE.

317. Pour prouver cette pression, on verse de l'eau dans un vase (fig. 104), après avoir placé vers le centre un tube *ab* ouvert à ses deux extrémités. Ce liquide pénètre et s'élève dans le tube à la même hauteur que dans le vaisseau.

318. La pression de bas en haut n'est qu'un effet de la pesanteur. Il est aisé de voir (fig. 103) que la colonne horizontale *gn*, pressée par *eg*, soulève *nm* avec une force égale au poids de *eg*, et que l'équilibre ne peut exister que dans le cas où les deux colonnes *eg* et *mn* auront même hauteur.

Pression des liquides sur le fond d'un vase.

319. La pression qu'un liquide exerce sur le fond d'un vase quelconque dépend de la hauteur perpendiculaire au-dessus de la base du vaisseau qui le contient.

320. Pascal a mis cette vérité dans tout son jour au moyen d'un appareil dont voici la description :

Sur les côtés opposés d'une caisse AB (fig. 105), s'élèvent deux montans CD, EF, sur lesquels repose une traverse GH, ouverte en *r* et portant des leviers égaux *ab*, *ed*, mobiles sur leurs axes qui entrent dans deux appuis fixes *c* et *c'*; ces leviers sont terminés par des arcs de cercle décrits du centre commun de leur mouvement. Une tige de métal *mn*, soutenue par des cordons attachés en *a* et *e*, répond à un piston *s* qu'elle suspend et fait mouvoir dans un cylindre de cuivre GI; au bord de ce cylindre sont vissés intérieurement deux cercles de 2 à 3 lignes d'épaisseur : l'un intérieur servant à soutenir le piston, afin qu'il ne tombe pas dans la caisse; l'autre supérieur, qu'on ne visse qu'après avoir placé le piston, empêche celui-ci, quand on l'élève, de venir frapper le fond des vases surmontant le cylindre GI, qui reçoit à vis trois vaisseaux de cristal ouverts aux deux extrémités, tous de forme et de capacité très-différentes, mais dont le fond de chacun est ramené précisément au diamètre du cylindre GI par une virole de cuivre qui s'y trouve mastiquée.

Le premier vaisseau X est un cylindre ayant même diamètre que le piston *s* qui lui sert de base, lorsqu'il est monté sur le cylindre en cuivre GI.

Le second Y, d'un volume beaucoup plus grand, a la figure d'un entonnoir fort évasé par le haut.

Le troisième Z n'est autre chose qu'un tube fort étroit, mais élargi par le bas pour recevoir la virole de même diamètre que le cylindre, et terminé à son bord supérieur en forme de godet, propre à recevoir l'eau qui pourrait dépasser le tube pendant l'opération.

EXPÉRIENCE.

Après avoir établi successivement les trois vases X, Y, Z, sur le cylindre GI, et les avoir remplis d'eau jusqu'à la même hauteur en *h*, on suspend, aux extrémités *b* et *d* des leviers *ab*, *ed*, des poids P, P', capables de soulever le piston *s* et conséquemment la masse de liquide qui y correspond. Pendant l'expérience, on observe que les poids sont égaux dans les trois circonstances, quoique la quantité d'eau enlevée chaque fois soit très-différente.

Le frottement que le piston éprouve lorsqu'il se meut étant toujours le même, il en résulte évidemment que la pression qu'exercent les fluides sur une base donnée, est en raison de la hauteur perpendiculaire, quelles que soient leur quantité et la figure des vases qui les renferment.

521. Cette expérience apprend qu'il faut distinguer le poids et la pression d'un liquide. Si l'on était chargé du grand vase lorsqu'il est plein d'eau, on aurait à soutenir le poids du vaisseau et celui du fluide entier; mais si l'on ne voulait que pousser en haut le piston *s* qui lui sert de base, on n'aurait à soutenir que le poids du cylindre d'eau *pz*, qui n'adhère point aux parties environnantes. En supposant que la surface du piston soit de 1 décimètre quarré et la hauteur de l'eau de 3 décimètres, on aurait une colonne de 3 décimètres cubes; mais 1 décimètre cube d'eau pèse 1 kilogramme; la pression qu'éprouve le piston serait donc égale au poids de 3 kilogrammes.

Généralement, si h est la *hauteur* du liquide, d sa *densité* ou son *poids spécifique*, et b la *base horizontale* du vase; en désignant par P l'effort de la pression, pour déterminer cette *pression*, on aura la relation suivante:

$$P = b \times h \times d.$$

En sorte que pour trouver la pression qu'une colonne d'eau, d'*un mètre* de hauteur, exerce sur une surface de 1 *décimètre quarré*, la densité de ce fluide étant de 1 kilogramme par décimètre cube, on fera

$$b = 1^{\text{décimètre quarré}}, \quad h = 1^{\text{m}} = 10^{\text{décimètres}}, \quad d = 1^{\text{kilogramme}},$$

et l'expression générale donnera

$$P = 1^{\text{d.q}} \times 10^{\text{d}} \times 1^{\text{kg.}} = 10^{\text{kilogrammes}}.$$

Il est bon de se rappeler ce résultat qui exprime que la pression de l'eau sur le fond d'un vase ou sur les corps qui y sont plongés, est d'environ *dix kilogrammes* par *décimètre quarré* de surface pour chaque mètre d'enfoncement.

522. Puisque la petite masse d'eau contenue dans le vase Z, produit le même effet que celle renfermée dans le second Y, il n'est pas étonnant que l'on fasse crever un tonneau déjà plein, sous la pression d'une petite quantité d'eau.

EXPÉRIENCE.

On place un tonneau A (fig. 106), dans une situation verticale, puis on perce le fond supérieur d'une ouverture à laquelle on adapte un tube *ab* qui a 10 ou 12 mètres de longueur: 3 ou 4 bouteilles d'eau suffisent pour le remplir; il en résulte une pression égale au poids d'une colonne d'eau qui aurait 12 mètres de hauteur et le fond du tonneau pour base.

Pression de l'eau considérée comme cause du bouleversement d'une partie de la surface terrestre.

Quelques-unes des révolutions de la surface du globe sont les conséquences du principe dont on vient d'indiquer l'effet; il peut produire des tremblemens de terre, fendre ou faire écrouler des montagnes. Supposons, par exemple, dit Neil-Arnott, que dans le sein d'une montagne il se trouve un vide hori-

zontal de 30 à 40 pieds quarrés, sur quelques pouces seulement de hauteur, et que les pluies ou d'autres causes viennent à former un conduit qui du haut de la montagne descende jusque dans l'espace vide, et ait une longueur de plusieurs centaines de pieds; lorsque l'eau aura rempli la cavité et qu'elle s'élèvera dans ce tube d'une nouvelle espèce, la montagne pourra être brisée en éclats si elle a résisté quelque temps aux premiers efforts de l'eau qui, s'élevant de plus en plus, acquerra une incroyable énergie. Si le réservoir d'eau souterraine avait plusieurs lieues d'étendue, une contrée entière pourrait se trouver bouleversée.

De l'égalité de pression dans tous les sens.

323. La pression exercée sur les molécules inférieures d'un fluide par la pesanteur de ses molécules supérieures est égale dans tous les sens.

EXPÉRIENCE.

On plonge dans un vase, en partie rempli d'eau, des tubes de verre de différente forme A, B, C, D (fig. 107), ouverts par les deux bouts, mais dont on bouche l'extrémité supérieure; tous ces tubes sont assujétis et soutenus par une tringle de métal qui pose sur les bords du vase. Aussitôt qu'on ôte les bouchons, l'eau monte dans tous à la même hauteur.

Ici, on voit évidemment que dans les tuyaux A, B, C, D, la pression est dirigée respectivement de *bas en haut*, de *haut en bas*, *latéralement* et *obliquement*. Si l'on verse dans le vase une nouvelle quantité d'eau, elle monte aussi également dans les quatre tubes.

Il résulte de cette expérience,

1° Que chaque particule d'un fluide est également pressée de toutes parts, et conséquemment qu'elle est en repos.

2° Que la surface d'un fluide abandonné à lui-même, doit toujours devenir plane et parallèle à l'horizon, et que l'équilibre ne peut s'établir sans l'existence de cette condition.

De l'équilibre des liquides homogènes.

324. Nous avons déjà dit (158) que l'équilibre est l'état d'un corps sollicité par des forces qui se détruisent.

On nomme liquide *homogène* celui dont les parties sont également pesantes.

325. Ces liquides sont en équilibre toutes les fois que les différens points de leurs surfaces sont également éloignés du centre de la terre.

En effet, l'eau versée dans un vase quelconque s'agite jusqu'à ce que sa surface soit de niveau, c'est-à-dire parallèle à l'horizon.

326. C'est pour conserver une même distance au centre du globe que la surface de l'eau devient convexe, lorsqu'elle occupe un grand espace.

On aperçoit les mâts d'un navire qui aborde vers le rivage avant qu'on puisse voir le corps du bâtiment. L'œil placé en *a* (fig. 108), reçoit le rayon de lumière *ab* qui vient du point *b*, tandis que la convexité des eaux arrête le rayon *eda*, qui se meut en ligne droite comme le premier.

Des Tubes communiquans.

327. Cette loi générale de l'équilibre des liquides homogènes s'observe aussi dans les vases ou tubes qui communiquent entre eux, quelle que soit la différence de leur figure et de leur capacité.

EXPÉRIENCE.

L'appareil est composé d'un grand vaisseau de cristal AB (fig. 109), à la partie inférieure duquel se trouve fixé un tube horizontal *cd*, portant un robinet R; un autre tube vertical *gm*, qui peut être incliné comme *pk*, ou tortueux comme *ez*, se visse à l'extrémité *d* pour communiquer à volonté avec AB.

Lorsqu'on verse de l'eau ou une liqueur quelconque dans le réservoir AB, et qu'on ouvre le robinet, elle s'élève dans le tube *gm* à la même hauteur perpendiculaire; et bientôt on voit les deux surfaces *hn* et *h'* rester dans le même plan horizontal *hh'*.

La raison de ce phénomène se présente naturellement à l'esprit. On sait (312) que les parties d'un liquide agissent indépendamment les unes des autres; ainsi la colonne *gh'*, qui est dans le tube *gm*, n'est soutenue que par le poids de la colonne *ar*. Or, elles ont une base commune qui est l'ouverture du robinet; il faut donc qu'elles aient même hauteur pour se faire équilibre.

Application des principes précédens à diverses constructions, au moyen de tirer l'eau des puits profonds, et à l'explication de quelques phénomènes importans.

1° Le principe de pression latérale (315), explique pourquoi un tonneau, rempli d'une liqueur quelconque, se vide par le robinet qu'on adapte dans une ouverture faite sur l'un de ses côtés.

Et c'est parce que l'effet de cette pression dépend de la hauteur du liquide (316), qu'un architecte donne aux murs destinés à retenir les eaux, une espèce de pente qu'on appelle *talus* : ils sont plus épais vers la partie inférieure, afin de résister davantage à la poussée latérale qui augmente avec la hauteur du fluide.

2° La propriété qu'ont les fluides de presser de bas en haut (317) s'utilise dans bien des circonstances.

Par exemple, lorsqu'on veut tirer de l'eau des puits qui sont très-profonds, comme on en trouve sur le sommet des montagnes, on se sert alors de deux seaux attachés aux extrémités d'une même corde qui embrasse un tambour qu'on fait rouler, de manière que l'un descend pendant que l'autre monte. Comme ces seaux sont ordinairement fort grands, et qu'on est souvent obligé de leur donner de la longueur aux dépens de la largeur, pour s'accommoder à l'ouverture du puits, on prend le parti de les emplir par le fond; et, pour cet effet, on y pratique une ou plusieurs soupapes, qui laissent entrer l'eau dans le seau sans lui permettre d'en sortir.

3° La connaissance de la loi de la nature relative aux tubes communiquans (327), a fait naître l'importante découverte des tuyaux de conduite. Les anciens, qui n'en soupçonnaient pas même l'existence, s'épuisaient en frais et en fatigues lorsqu'il s'agissait de conduire des eaux à une très-grande distance. De là ces superbes aqueducs *, qui ont coûté si cher aux Romains, pour faire passer l'eau d'une montagne à une autre. Les canaux souterrains y étaient aussi quelquefois employés; mais ce n'était que dans les circonstances où les eaux devaient être conduites dans des lieux plus abaissés.

Les Physiciens modernes ont su mettre à profit l'ascension des fluides qui s'effectue à la même hauteur dans tous les tubes qui communiquent entre eux. S'agit-il de porter l'eau dans des lieux fort élevés? on y construit un réservoir un peu au-dessous de l'endroit où l'eau qu'on veut y amener prend sa source: alors, au moyen des tuyaux de conduite qui descendent de la source, et qui s'élèvent pour aboutir au réservoir, on parvient à amener l'eau au lieu de sa destination.

C'est ainsi qu'on distribue les eaux dans les différens quartiers des grandes villes par des tuyaux cachés sous le pavé des rues.

C'est de la même manière que dans la nature, l'eau cherchant toujours un écoulement, et ne pouvant demeurer en repos que quand elle est en équilibre partout, on la voit remonter des cavités souterraines pour produire les fontaines et les sources, couler avec fureur dans les torrens, tomber des cascades avec fracas, rouler ses ondes dans les mers, couler paisiblement dans les ruisseaux et les rivières, dans les lacs et les étangs; n'avoir souvent que les mouvemens que les vents lui impriment, enfin s'introduire dans tous les corps pour remplir leurs interstices.

---

* On trouve en France, et particulièrement à Nîmes, Aix, Lyon, Paris, des restes encore assez majestueux de ces monumens antiques: dans cette dernière ville, au haut de la rue Saint-Jacques, on découvre des canaux de l'ancien aqueduc d'Arcueil, construit, à ce que l'on croit, par les ordres de Julien, pour fournir d'eaux le palais des Thermes que ce prince habitait. Mais rien n'égale en beauté celui qu'on va admirer à Spolette, qui s'est conservé tout entier depuis tant de siècles. L'Italie n'a pas de monumens plus curieux; c'est l'ouvrage le plus imposant, le plus hardi que l'on connaisse dans le monde; établi sur le roc dans le fond d'un abîme, il s'élève à la hauteur de cent cinq toises pour joindre ensemble deux montagnes voisines. On peut le comparer au grand mur de la Chine et aux pyramides d'Égypte, dont la plus haute n'a que six cents pieds d'élévation.

Sources jaillissantes. Puits artésiens. Jets d'eau artificiels.

Un autre phénomène que nous offre encore la nature est celui des *sources jaillissantes,* que nous avons si bien imitées et même surpassées en beauté dans nos jardins.

Ici, c'est encore à la tendance que l'eau a toujours pour s'élever à son niveau qu'on doit rapporter la cause de ces effets. Si ce liquide, après être descendu d'une source vers un lieu plus bas par un canal naturel ou artificiel, est arrêté par un obstacle suffisant, il pressera contre cet obstacle avec une force égale à celle qui serait nécessaire pour le faire remonter à la hauteur du lieu d'où il est parti : de sorte que, si l'obstacle vient à être subitement enlevé, le liquide s'élancera rapidement en haut.

C'est ainsi que, dans les *puits artésiens,* dénomination qui leur vient de l'Artois où ils sont très-communs, l'eau s'élève au-dessus de la surface du sol, lorsqu'au moyen de la sonde on a percé les couches imperméables qui la retenaient enfermée.

La considération du même fait ramené en principe, sert de base à l'art de construire des *jets d'eau artificiels.* Un réservoir très-grand est établi dans un lieu le plus haut possible, mais cependant toujours au-dessous de la source qui doit l'alimenter; des tuyaux communiquent du réservoir aux différens points les plus bas du sol où l'on veut conduire l'eau : ces tuyaux sont armés de robinets à chaque extrémité, et à leur ouverture inférieure on adapte divers ajutages qui, suivant leurs figures, présentent à l'œil, dès que les robinets sont ouverts, une gerbe, un éventail, une nappe, un seul filet d'eau vertical ou oblique, qui en sort avec impétuosité et s'élève presqu'à la hauteur du réservoir.

Par ce moyen, on est parvenu à former des cascades artificielles qui, heureusement combinées avec les différens jets d'eau, offrent des tableaux merveilleux de magnificence, de grandeur et de beauté. Paris, Saint-Cloud et Versailles, en France, renferment des exemples très-variés de tout ce que l'art peut avoir de superbe en ce genre : et maintenant, à Nancy, on peut contempler aussi avec plaisir le château-d'eau du cours d'Orléans, et le Neptune et l'Amphitrite qui embellissent la place Royale, en même temps qu'ils prodiguent l'eau à ses habitans.

Accidens qui peuvent survenir dans la recherche des sources.

Certains accidens naturels trouvent encore leur explication dans cette propriété que possède tout liquide de s'élever jusqu'à ce qu'il parvienne à son niveau.

Quand on rencontre une source dans un endroit plus élevé que tout ce qui l'entoure, on se demande naturellement alors comment l'eau a pu remonter là contre son propre poids. Il est certain, dans tous les cas semblables, qu'elle vient de quelque lieu éloigné et dominant celui où elle sort de terre, et qu'elle a été transportée le long des conduits souterrains dans lesquels elle tend sans cesse à se mettre de niveau.

Quand il existe sous terre des eaux qui viennent de quelques lieux élevés, et qui sont arrêtées à une certaine profondeur par des couches imperméables,

si en creusant le sol il arrive qu'on perce ces couches, l'eau en jaillit à l'instant avec une force plus ou moins grande, suivant l'élévation de la source, et il peut en résulter du danger pour les travailleurs, qui ont souvent été victimes de pareils événemens. Ces accidens sont d'autant plus à craindre qu'on a creusé plus profondément avant de rencontrer de l'eau; car alors on peut supposer que celle qu'on trouvera si bas fera un plus grand effort pour remonter que si elle était plus près de la surface de la terre.

Dans différens cantons, il suffit de faire un trou dans la terre avec une sonde pour se procurer de l'eau partout où l'on en veut faire venir; cette eau ne peut provenir que du voisinage de quelque rivière, dont le niveau est un peu supérieur à celui du sol, ce qui lui permet de se filtrer dans l'intérieur de la terre à une petite distance de la surface. Dans ce cas, s'il se trouve deux couches imperméables, l'eau restera renfermée entre elles, et y formera une couche liquide à laquelle il suffira d'arriver pour la faire jaillir.

Des précautions à prendre pour imiter la nature dans l'art de conduire les eaux.

Il est facile de conduire l'eau sur un lieu élevé, pourvu que celui de sa source le soit davantage.

L'eau des fontaines qui arrose la cime des montagnes y arrive par des canaux souterrains : les tubes communiquans ont été creusés par la nature, et lorsqu'on veut les imiter, il faut user de quelques précautions. Nous allons énumérer les plus indispensables :

1° Le réservoir doit être plus bas que la source, afin que l'on puisse y parvenir;

2° On fait les tuyaux un peu gros pour diminuer les frottemens;

3° A ceux qui se trouvent dans une position horizontale, il faut donner une légère inclinaison pour favoriser l'écoulement du liquide;

4° Les canaux qui suivent les inégalités du terrain sont armés de robinets distribués par intervalle, afin qu'on puisse faire évacuer l'air qui obstrue des ourbures supérieur es.
c

Du Niveau d'eau.

Un instrument, appelé *Niveau d'eau*, a été construit d'après la propriété qu'ont les liquides de présenter partout une surface horizontale. Il est composé d'un tuyau de métal *ab* (fig. 110), qui tourne sur un pied; ses extrémités, coudées à angles droits, reçoivent deux tubes de verre communiquant *ac*, *bd*; on y verse de l'eau colorée jusqu'à ce qu'elle arrive aux trois quarts de la hauteur des tubes. G*h* est un petit rectangle de fer-blanc, connu sous le nom de *mire*, divisé par *ik* en deux parties égales, l'une noire et l'autre blanche; il glisse le long d'une règle et s'y fixe partout où l'on veut, au moyen d'une vis de pression.

Le niveau d'eau sert à établir les grandes surfaces dans une position horizontale ou inclinée, selon le besoin. Les arpenteurs, les paveurs, les fonteniers en font usage.

LEÇON XXIe.

DE L'ÉQUILIBRE DES CORPS FLOTTANS ET DES CORPS PLONGÉS DANS LES FLUIDES.

Des Fluides hétérogènes. Effets de leur pression. — Application à la construction du Passe-vin et à celle du Niveau à bulle d'air. — Équilibre des fluides hétérogènes. — Équilibre des corps solides flottans et des corps plongés dans les fluides. — Principe d'Archimède. Cause de sa découverte. Diverses lois qu'on en tire. Application de ces principes à l'explication d'un grand nombre de phénomènes que l'art et la nature présentent souvent à nos regards.

Des Fluides hétérogènes.

328. Un fluide *hétérogène* est celui dont les parties n'ont pas la même densité.

Leur Pression.

329. Lorsque plusieurs liquides de différente densité sont mêlés dans un vase, bientôt on voit les plus pesans occuper les régions inférieures.

EXPÉRIENCE.

330. On agite une fiole de verre qui renferme du mercure, de la potasse, de l'alcohol et de l'huile. Ces liqueurs ne présentent alors qu'une masse opaque; mais, après quelques instans de repos, chacune d'elles reprend la place qui convient à sa densité : le mercure s'établit au premier rang vers le bas, la potasse au second, l'esprit de vin au troisième, et l'huile vient au dernier.

On pourrait citer encore l'exemple de la fumée qui s'élève dans l'air, parce qu'elle est plus légère que ce fluide.

331. La différence de densité n'est pas seule suffisante pour séparer deux liquides hétérogènes, quand elle est très-petite ou lorsque ces liqueurs ont assez d'attraction pour se combiner entre elles, comme le vin et l'eau. Cependant on peut quelquefois empêcher leur mélange, d'une manière même surprenante, en diminuant le nombre de leurs points de contact, ainsi que cela arrive avec l'instrument dont nous allons donner la construction et l'usage.

Du Passe-vin.

332. Le *Passe-vin* se compose d'un réservoir R (fig. 111),

surmonté d'un canal fort étroit qui porte une espèce de coupe en forme d'entonnoir; le tout est ordinairement en cristal.

EXPÉRIENCE.

Après avoir rempli de vin le réservoir jusqu'au milieu du tube *m*, on verse de l'eau dans la coupe supérieure; aussitôt le liquide descend au fond du vase et force le vin à lui céder sa place.

On rend cette expérience très-amusante, en cachant le réservoir R dans une boîte ou sous la base d'une colonne; et les spectateurs ne voient alors que l'eau, versée devant eux, qui se convertit en vin.

Dans cette circonstance, on peut donner au passe-vin le nom de *Coupe magique*.

Diverses Applications aux arts et métiers.

1° C'est à la différence de densité de l'eau et du vin qu'il faut rapporter le procédé mis en usage par les tonneliers et les marchands pour rafraîchir les vins : il consiste à remplir une grande bouteille d'eau très-froide, et à l'introduire, l'orifice en bas, par la bonde d'un tonneau tout-à-fait rempli de vin. L'eau descend par son poids au fond du tonneau, et le vin s'élève dans la bouteille; de sorte qu'on retire ici, comme précédemment (332), du vin à la place d'eau.

On rapporte que les esclaves des Indes occidentales emploient ce moyen pour voler du rhum, dont ils sont très-avides.

2° La même propriété des fluides hétérogènes a également été mise à profit pour la construction d'un instrument utile connu sous le nom de *Niveau à bulle d'air*.

C'est un tube de verre *ab* (fig. 112), un peu convexe, renfermant de l'alcohol ordinairement coloré : on y laisse une bulle d'air qui, d'après sa légèreté, monte toujours à la partie la plus élevée du tube. Pour le rendre plus commode, on l'adapte à une base de métal bien dressée, par deux appuis d'égale hauteur et fixés à cette base.

L'instrument est bon, quand, posé sur un plan horizontal, le milieu de la bulle d'air répond toujours au zéro de la division tracée sur le tube même, quel que soit le sens dans lequel on le tourne.

De l'Équilibre des liquides hétérogènes.

333. Deux liquides hétérogènes qui agissent l'un sur l'autre par le moyen des tubes communiquans, sont en équilibre toutes les fois que leurs densités sont en raison inverse des hauteurs perpendiculaires.

EXPÉRIENCE.

334. On introduit du mercure dans un tube recourbé *abc* (fig. 113), de manière que la surface du liquide se termine suivant la droite horizontale *eh*; ensuite on verse de l'eau dans la grande

branche du tube, jusqu'à la quatorzième division de l'échelle à laquelle il correspond, et le mercure ne s'élève que d'une seule dans l'autre branche.

On voit par là que l'ascension du mercure est quatorze fois moindre que celle de l'eau; mais aussi il pèse environ quatorze fois davantage : sa hauteur dans le tube est donc en raison inverse de la densité.

De l'Équilibre des corps solides plongés dans les fluides.

335. On voit souvent, et on l'a déjà fait remarquer plusieurs fois, des corps pesans ne pas suivre dans leur mouvement l'impulsion de la pesanteur et se diriger en sens contraire : le liége, le bois et beaucoup d'autres substances remontent au lieu de descendre quand on les plonge dans l'eau; le fer en fait autant lorsqu'il est plongé dans le mercure; et les nuages restent suspendus dans l'atmosphère, à peu près comme les vaisseaux restent flottans à la surface des eaux. Tous ces phénomènes et beaucoup d'autres dépendent d'un seul principe, appelé *principe d'Archimède*, que nous allons expliquer, après avoir dit d'abord un mot sur la cause de sa découverte.

Problème d'Hiéron.

Hiéron, roi de Syracuse, ayant ordonné à un orfèvre de lui fabriquer une couronne d'or pur, le soupçonna d'avoir allié une certaine quantité d'argent, et désira s'en assurer, sans qu'on fût obligé d'endommager la couronne, dont le travail était précieux. Comme il était impossible de résoudre ce problème, à l'époque où il était proposé, sans faire exécuter une nouvelle couronne d'or pur du même volume, Archimède fut invité à chercher un moyen qui pût conduire au même résultat.

Ce célèbre philosophe se trouvant au bain et réfléchissant sur ce qu'il arrive à un corps plus pesant que l'eau quand on le plonge dans ce fluide, et qui par conséquent s'y enfonce, trouva que ce corps, qui y perd très-sensiblement de son poids, devait en perdre et en perd réellement une partie égale à celui du volume d'eau qu'il déplace. Satisfait de cette découverte, il sortit du bain avec une si grande joie, qu'il parcourut les rues de Syracuse en s'écriant : « *Je l'ai trouvé! je l'ai trouvé!* »

Muni de ce principe, Archimède comprit d'abord qu'il avait dans l'eau, ou tout autre liquide plus léger que la couronne, le corps dont il pouvait le plus facilement comparer la pesanteur, à volume égal, avec la couronne qui lui avait été confiée; et il n'eut plus besoin, pour résoudre le problème, que de peser la couronne dans l'air et puis dans l'eau, pour voir combien elle perdait; de faire ensuite la même opération comparative sur un volume quelconque d'or pur, et de voir si la couronne diminuait de poids dans la même proportion que l'or : ce qu'il détermina bien facilement.

Telle fut la solution d'un des plus fameux problèmes de l'antiquité, et la

cause de la découverte d'un principe dont la connaissance est encore si importante aujourd'hui.

Principe d'Archimède.

336. Un corps plongé dans un fluide y perd une partie de son poids égale au poids du fluide qu'il déplace.

Soit *mn* (fig. 114) une masse fluide dont les molécules pesantes sont maintenues en équilibre. Considérons une portion quelconque *ab* de cette masse : il est évident que cette portion étant pesante, il faut, si elle reste suspendue, que le fluide environnant exerce sur elle une pression de bas en haut et égale à son poids (318). Or, si à cette portion de fluide on substitue un autre corps occupant le même espace, le fluide environnant ne cessera pas d'agir semblablement ; il le soutiendra comme il soutenait le fluide dont il tient la place ; et, par conséquent, ce corps perdra une partie de son poids égale à celui du volume du fluide qu'il déplace. Ce qui confirme le principe énoncé.

Balance hydrostatique.

337. On peut démontrer directement cette vérité par des expériences faites au moyen de la *Balance hydrostatique.*

Cet appareil fort simple est une balance ordinaire, avec laquelle on pèse les corps, d'abord en les laissant dans l'air, et ensuite en les plongeant dans l'eau. A et B (fig. 115) sont deux cylindres métalliques, suspendus l'un au-dessous de l'autre, à la place d'un bassin D de la balance DEG. Le cylindre A est fermé par sa base inférieure seulement ; B est fermé de toutes parts. Le premier est construit de manière que le second peut y être introduit exactement; ainsi, la capacité intérieure du cylindre A est égale au volume extérieur du cylindre B. Les deux cylindres sont équilibrés par des poids placés dans le bassin F. Tout étant ainsi disposé, on fait plonger le cylindre inférieur dans un vase d'eau ; l'équilibre cesse d'exister, et se trouve rétabli lorsqu'on a rempli d'eau le cylindre A. Le cylindre B a donc perdu, par son immersion, le poids du liquide introduit dans le cylindre A, c'est-à-dire celui d'un volume d'eau égal au sien.

337. Que le fluide soit un liquide ou un gaz, le principe établi est également vrai ; ainsi *un corps perd dans l'air une partie de son poids égale à celui de l'air déplacé ; et conséquemment il pèse moins dans l'air que dans le vide. La différence, quoique très-peu sensible pour la plupart des corps, n'est pas à négliger dans les expériences qui exigent une grande précision.*

EXPÉRIENCE DU MARTEAU PHILOSOPHIQUE.

Puisque les corps plongés dans un fluide y perdent de leur poids, ils ne tombent jamais dans l'air avec toute l'énergie de la pesanteur : c'est pourquoi les flocons de neige et les gouttes de pluie qui traversent l'atmosphère, nous frappent avec moins de force que s'ils tombaient dans le vide.

On renverse un tube de verre exactement fermé, dans lequel on a supprimé l'air, et qui contient un peu d'eau. Ce liquide n'éprouvant plus aucune résistance se précipite avec un bruit très-sensible, et brise quelquefois l'appareil entre les mains de celui qui l'agite sans précaution. C'est là ce qu'on nomme l'*expérience du marteau d'eau* ou *du marteau philosophique*.

338. Les corps plongés éprouvent une perte d'autant plus grande qu'ils ont plus de volume; car ils déplacent alors une quantité d'eau plus considérable.

EXPÉRIENCE.

On suspend aux bassins de la balance hydrostatique deux boules de même masse, l'une de plomb et l'autre d'ivoire; elles se font équilibre dans l'air. Plaçant ensuite au-dessous des bassins deux vases remplis d'eau, et faisant descendre la balance jusqu'à ce que les boules plongent dans l'eau; alors l'équilibre est détruit, le globe de plomb l'emporte sur l'autre, parce qu'ayant un plus petit volume, il perd moins par son immersion dans l'eau que la boule d'ivoire.

339. Si le fluide augmente de densité, un volume égal à celui du solide pèse aussi davantage, et le corps plongé perd une plus grande partie de son poids.

EXPÉRIENCE.

Choisissez deux billes d'ivoire de même diamètre, elles seront en équilibre dans l'air; si vous faites plonger l'une dans l'air ou l'alcohol et l'autre dans l'eau, celle-ci perdra plus de son poids que la première, et l'équilibre sera troublé.

340. Lorsque le poids du solide est moindre que celui d'un pareil volume du liquide, il s'y enfonce jusqu'à ce que le poids de la partie déplacée soit égal au sien.

EXPÉRIENCE.

Plongez une boule creuse très-légère dans un vase qui communique avec un tube *ab* (fig. 116), et qui est rempli d'eau jusqu'à *df*; le globe fera monter un volume du liquide égal à celui de la partie submergée. Ouvrez ensuite le robinet R, et refermez-le dès que la

surface du fluide sera revenue à sa première hauteur ; vous aurez, par ce moyen, toute l'eau déplacée, et son poids sera précisément celui du solide.

341. Le corps ne descendrait pas à la même profondeur, si le fluide était plus dense, parce qu'il en faudrait moins pour former un poids égal à celui du solide soumis à l'opération.

EXPÉRIENCE.

AB est un tube de verre terminé par deux boules C et D (fig. 117); la dernière tient un peu de mercure, afin que l'instrument conserve une position verticale quand il est plongé dans un liquide. Si vous portez cet appareil dans l'esprit de vin, et qu'il y descende jusqu'en *n*, il s'enfoncera moins dans l'eau pure, et moins encore dans l'eau salée.

Il suit de là qu'*un solide plongé dans un fluide d'une plus grande densité que la sienne, doit flotter sur sa surface.*

342. Le solide reste dans la place qu'il occupe lorsque son poids est égal à celui d'un pareil volume du liquide.

EXPÉRIENCE.

Quand on établit dans l'eau distillée une boule creuse dont le volume est un décimètre cube, et qui pèse 1 kilogramme, c'est-à-dire autant qu'un décimètre cube de fluide, cette boule demeure en équilibre partout où elle se trouve placée.

Application des principes précédens à l'explication de divers phénomènes.

Tout ce qu'on vient de dire sert à faire comprendre un grand nombre de phénomènes que l'art et la nature offrent à nos regards.

1° Les poissons se trouvent souvent plongés dans l'eau à de très-grandes profondeurs, et conséquemment pressés par des poids énormes ; cependant ils n'en éprouvent aucune incommodité : c'est qu'ils sont pressés également de toutes parts.

2° Les animaux qui se noient vont d'abord au fond de l'eau, parce que leur poids est plus grand que celui d'un pareil volume du fluide ; mais quelque temps après, les parties se gonflent, et le cadavre, qui a plus de volume, s'élève à la surface du liquide.

3° Il est plus facile de nager lorsqu'on a des vessies pleines d'air appliquées sous les bras, parce qu'elles augmentent l'étendue du corps, et que son poids devient alors moindre que celui d'un pareil volume d'eau.

4° Il est aussi plus aisé de nager lorsque le corps est entièrement plongé dans l'eau, que quand il ne s'y trouve qu'en partie ; parce que, dans le premier cas, le corps déplace un plus grand volume d'eau, et perd conséquemment une partie plus considérable de son poids. Les hommes qui ont beaucoup d'embonpoint nagent avec plus de facilité que les autres, par la raison que



la graisse augmente le volume du corps dans un plus grand rapport qu'elle n'en augmente le poids.

5° Les poissons sont en équilibre dans l'eau où ils vivent, pour ne pas être condamnés à se soutenir par un mouvement continuel au-dessus des profondeurs de la mer, ce qui fait qu'ils pèsent précisément autant que l'eau qu'ils déplacent. Ils sont maintenus dans cet état par un organe particulier, connu sous le nom de *vessie natatoire*, qui varie de forme dans les différentes espèces, et qui leur sert aussi à s'élever et à descendre dans le fluide; il suffit, pour exécuter ces mouvemens, qu'ils puissent la resserrer ou la gonfler à volonté : dans le premier cas, leur poids restant le même et leur volume devenant moindre, ils sont plus denses que l'eau, et ils s'enfoncent; dans l'autre, le contraire arrive, ils montent comme le liége.

Ce phénomène n'est cependant pas aussi simple qu'on l'imagine d'abord. Un poisson au milieu de l'eau ne peut pas se gonfler comme un animal sur la terre qui retient son haleine; il ne trouve pas de l'air à prendre ou à rejeter; c'est avec la même quantité de gaz qu'il doit opérer ses mouvemens. Il faut donc que, par une action volontaire, le gaz soit sans cesse plus comprimé qu'il ne le serait par le fluide environnant, et qu'un peu plus ou un peu moins d'énergie dans cette action comprimante lui donne successivement un moindre ou un plus grand volume. On rend cet effet sensible par l'appareil de la figure 118, qu'on nomme un *ludion*; c'est une petite boule de verre remplie en partie d'air et d'eau, et placée dans un vase plein d'eau couvert d'une feuille de parchemin. Le ludion L monte ou descend, suivant que l'on soulève ou que l'on presse la membrane MM′ qui ferme le vase.

6° On peut faire des gondoles ou barques en cuivre, quoique l'eau soit environ huit fois moins dense que ce métal; elles surnagent toutes les fois que leur charge n'excède pas le poids du fluide qu'elles déplacent.

7° Un vaisseau, quoique composé de parties qui, isolées, ont plus de densité que l'eau, flotte sur sa surface, parce que le vaisseau forme avec l'air qu'il renferme un tout d'une densité moindre que celle de l'eau.

LEÇON XXIIe.

DES AÉROSTATS.

Invention des aérostats. — Première ascension d'un ballon. — Narration d'un voyage aérostatique exécuté par Desrosiers et Darlandes. — Charles imagine de substituer l'hydrogène à l'air dilaté employé par Mongolfier. Il entreprend, avec Robert, en partant du milieu des Tuileries, ce fameux voyage dans l'atmosphère qui causa tant d'admiration à Paris. — Ascensions effectuées pour enrichir les Sciences. — Dangers que l'on court et précautions à observer quand on s'élève en aérostat. — Des Parachutes. — Utilité des ballons.

343. Le principe d'Archimède étant vrai pour les gaz comme pour les liquides, les corps qui s'y trouvent plongés perdent une

partie de leur poids égale au poids du volume du gaz qu'ils déplacent.

De là les tentatives qui furent faites pour élever des corps dans l'air et s'élever soi-même pour s'y tenir en équilibre, ou y flotter comme les vapeurs et les nuages.

344. Lana, vers l'an 1650, et Galilée, un siècle plus tard, imaginèrent différens moyens de s'élever dans l'air; mais ces moyens, n'étant pas fondés sur des données certaines, ne furent jamais mis à exécution *. C'était à Mongolfier qu'il appartenait de faire cette belle découverte; et, en 1783, il lança le premier ballon à Annonay. Ce fut alors que l'on vit en effet un spectacle nouveau sur la terre, et bien digne d'exciter l'enthousiasme : un globe immense (il avait 36 pieds de diamètre) qui s'élevait majestueusement dans les airs et qui semblait s'y soutenir par quelque puissance invisible.

345. Cet appareil, appelé *Mongolfière*, du nom de son inventeur, se compose d'un globe en papier vernis ou en tafetas, qui offre à sa partie inférieure une ouverture circulaire d'environ deux pieds de diamètre. Au-dessous de cette ouverture, et à quelque distance, est suspendu un panier léger, en fil métallique, contenant un corps combustible, soit de la paille hachée, soit de la laine ou du papier. Le combustible étant enflammé, l'air chaud qu'il produit monte de lui-même, pénètre dans le globe, et en remplit bientôt toute la capacité. A volume égal, l'air chaud pèse moins que l'air froid; ainsi, le poids du ballon est moindre que le poids de l'air qu'il déplace, et il doit s'élever par l'excès d'énergie de la poussée du

---

* Lana imaginait un appareil de quatre globes de cuivre, dans lesquels on ferait le vide, et qui étant à la fois très-spacieux et très-minces, deviendraient capables, par leur excès de légèreté, d'enlever un homme avec son support. Les savans réfutèrent ce moyen en objectant que les globes ne manqueraient pas de crever par la pression de l'atmosphère.

Galilée, partant d'une idée qui paraissait plus admissible, proposait de faire flotter dans l'atmosphère un grand vaisseau occupé par un air respectivement plus léger que celui qui le soutiendrait. Il faisait son vaisseau aussi grand qu'une ville, et capable de contenir une armée avec tout son attirail, et des provisions pour un long voyage. Il le supposait ensuite transporté dans l'atmosphère à une telle hauteur, que l'air dont il se remplirait fût une fois plus léger que celui au-dessus duquel il flotterait. Mais quelque élevés qu'eussent été les bords du vaisseau, l'air qui s'y serait introduit se comprimant, par son propre poids, dans le même rapport que l'air environnant, eût empêché l'appareil de pouvoir se soutenir un seul instant au milieu de l'atmosphère; et cette idée, d'ailleurs gigantesque, ne fut pas plus admise que celle de Lana.

fluide qui le sollicite de bas en haut; il s'élève, emportant avec lui le combustible enflammé qui produit sa puissance ascensionnelle, et, pour qu'il s'arrête, il faut qu'il arrive dans des couches d'air assez raréfiées pour que la différence des poids de l'air froid déplacé et de l'air chaud intérieur, soit précisément égale au poids de l'enveloppe, du panier et du combustible qu'il contient.

346. Avec un ballon ainsi construit, mais à la partie inférieure duquel une nacelle était fixée, l'illustre Desrosiers et Darlandes osèrent bientôt s'élancer dans les airs, en entretenant eux-mêmes le feu du réchaud.

Ils firent plusieurs voyages. Voici la relation du plus intéressant qu'ils entreprirent aux yeux de la capitale, et que nous offrons telle qu'elle se trouve rapportée dans l'Encyclopédie méthodique. Ce sont les aéronautes qui parlent.

« Arrivés dans les nuages, la terre disparut entièrement à nos yeux, un brouillard très-épais semblait nous envelopper, puis un espace plus clair nous rendait la lumière. De nouveaux nuages, ou plutôt des amas de neige, s'amoncelaient rapidement sous nos pieds (on était pourtant au cœur de l'été); nous en étions environnés de toutes parts: une partie tombait perpendiculairement sur les bords extérieurs de notre galerie, qui en retenait une assez grande quantité; une autre fondait en pluie sur Versailles et sur Paris: le baromètre avait descendu de 9 pouces, le thermomètre de 16 degrés. Curieux de connaître la plus grande élévation à laquelle notre machine pouvait atteindre, nous résolûmes de porter au plus haut degré la violence des flammes en soulevant notre brasier, et soutenant nos fagots sur la pointe de nos fourches. Parvenus aux plus hautes de ces montagnes glacées, et ne pouvant plus rien entreprendre, nous errâmes quelque temps sur ce théâtre plus que sauvage, théâtre que des hommes voyaient pour la première fois. Isolés et séparés de la nature entière, nous n'apercevions plus sous nos pas que ces énormes masses de neige qui, réfléchissant la lumière du soleil, éclairaient alors l'espace que nous occupions. Nous restâmes huit minutes sur ces monts escarpés, à onze mille sept cent trente-deux pieds de la terre, dans une température de 5 degrés au-dessous de la glace, ne pouvant plus juger de la vitesse de notre marche, puisque nous avions perdu tout objet de comparaison. Cette situation, agréable sans doute pour un peintre habile, promettait peu de connaissances à acquérir au physicien, ce qui nous détermina, dix-huit minutes après notre départ, à redescendre au-dessous des nuages pour retrouver la terre.

» A peine étions-nous sortis de cette espèce d'abîme, que la scène la plus riante succéda à la plus ennuyeuse. Nous vîmes tout à coup le spectacle le plus admirable; les campagnes nous parurent dans leur plus grande magnificence.... Nous passâmes dans une minute de l'hiver au printemps; nous vîmes un terrain lumineux couvert de villes, de villages, qui, en se confondant, ne ressemblaient plus qu'à de beaux châteaux entourés de jardins....

» Les vents, quoique très-considérables, emportaient notre bâtiment sans

nous faire éprouver le plus léger roulis; nous n'apercevions notre marche que par la vitesse avec laquelle les villages fuyaient sous nos pieds; de sorte qu'il semblait, à la tranquillité avec laquelle nous voguions, que nous étions entraînés par le mouvement diurne. Plusieurs fois nous cherchâmes à nous approcher de la terre, et nous parvînmes jusqu'à distinguer les acclamations qu'on nous adressait, et auxquelles il nous eût été facile de répondre avec un porte-voix.... »

Pilastre Desrosiers et son compagnon, après un voyage d'environ une heure, descendirent dans un carrefour de la forêt de Chantilly, à trois lieues de leur point de départ.

347. Ce genre de ballon était d'une manœuvre dangereuse et difficile : dangereuse, parce que le feu entretenu dans la nacelle pouvait s'y communiquer ou aux parois du ballon ; difficile, par la nécessité d'augmenter ou de diminuer le feu suivant qu'on voulait s'élever ou descendre, opérations qui, par leur nature, ne peuvent être réglées exactement.

348. Peu de temps après, un physicien célèbre, nommé Charles, réfléchissant à tous les dangers attachés aux Mongolfières, conçut l'heureuse idée de remplacer l'air chaud par le gaz inflammable, aujourd'hui appelé *hydrogène*, qui, étant quatorze fois plus léger que l'air, devait donner une force ascensionnelle considérable et toujours croissante, sans qu'il fût besoin d'aucun travail pour l'entretenir. Restait la difficulté de trouver une enveloppe qui fût peu pesante, et pourtant imperméable à ce gaz. Charles choisit le tafetas enduit d'un vernis composé de gomme élastique dissoute à chaud dans l'essence de térébenthine. Ce procédé réussit parfaitement : un ballon, de douze pieds de diamètre, s'éleva en deux minutes à près d'un quart de lieue de hauteur, se soutint pendant trois quarts d'heure, et alla tomber à quatre lieues de Paris.

Bientôt cet intrépide aéronaute fit construire un globe de 500 mètres cubes, pouvant enlever un poids de $604^{k},85$; et pour montrer la confiance que devait inspirer sa découverte, il entreprit, avec Robert, ce fameux voyage dans lequel il fut porté en quelques minutes à la hauteur de 400 à 500 toises, et parcourut, dans cette région de l'atmosphère, plus de neuf lieues dans l'espace de deux heures. Alors Robert descendit, et Charles, resté seul dans la nacelle, s'éleva de nouveau avec la rapidité d'une flèche jusqu'à la hauteur de dix-sept cent cinquante toises.

C'est du milieu des Tuileries que Charles fit son ascension; toute la population de Paris était en mouvement; les places publiques, les sommets des édifices et tous les lieux élevés étaient couverts de spectateurs. Un coup de canon fut le signal du départ, et aussitôt on vit monter le ballon comme un météore qui s'élève sur l'horizon;

au plus haut des airs on distinguait encore les banderoles flottantes éclairées par le soleil, et les navigateurs tranquilles qui saluaient la terre. Jamais une expérience de physique n'excita tant d'admiration et un tel concert d'applaudissemens.

Ascensions effectuées pour enrichir les sciences.

349. Des succès aussi satisfaisans ne pouvaient manquer d'exciter l'émulation parmi les physiciens, et Charles eut des imitateurs dans tous les pays. Mais entre tous les voyages aérostatiques qui furent entrepris pour des recherches scientifiques, on distingue ceux qui furent exécutés par MM. Gay-Lussac et Biot.

Dans une première ascension, ces deux physiciens, parvenus à la hauteur de 4000 mètres, firent des expériences importantes sur l'intensité magnétique de la terre, sur l'élasticité de l'air et sur la température de ces hautes régions.

Dans une seconde ascension, M. Gay-Lussac seul s'éleva à 7000 mètres au-dessus de Paris, hauteur la plus grande à laquelle l'homme soit jamais parvenu; c'est là qu'il ouvrit un ballon dans lequel il avait fait le vide, pour le remplir de l'air dont il était environné. Comparant ensuite cet air à celui que l'on trouve à la surface de la terre, il constata ce résultat curieux que l'air, à la plus grande hauteur à laquelle l'homme ait pu atteindre, est encore composé précisément comme celui que nous respirons.

Après une navigation de six heures, dans laquelle il avait parcouru plus de 30 lieues en ligne horizontale, M. Gay-Lussac descendit lentement et aborda à la terre dans les environs de Rouen.

Dangers que l'on court en s'élevant en aérostat.

350. Quand on s'élève à de très-grandes hauteurs, on doit craindre la rupture du ballon, qui pourrait résulter de ce qu'étant alors beaucoup moins comprimé par l'air plus rare qui l'environne, la pression qu'il éprouve de l'intérieur à l'extérieur de la part du gaz hydrogène, serait susceptible de lui faire une tension assez forte pour en opérer la rupture. Mais on prévient ces inconvéniens, en employant différens moyens que nous allons rapporter exactement.

Des précautions à observer dans les voyages aériens.

351. Dans les ballons à gaz hydrogène, les seuls en usage aujourd'hui *, le voyageur, pour modérer son ascension et

* Toutes les modifications qu'on a essayé de faire à cet appareil, n'ont pas été heureuses. Pilastre Desrosiers voulut, on ne sait pourquoi, combiner ce

maintenir à son gré sa hauteur, emporte avec lui quelques sacs remplis de sable, et pourvoit son aérostat d'une soupape de sûreté. Veut-il s'élever, il jette une partie du sable, et devient plus léger. Veut-il descendre, il laisse échapper une petite quantité du gaz que son ballon renferme, et il devient plus lourd. Pour faciliter cette manœuvre, la soupape placée au sommet du globe s'ouvre à l'aide d'une corde qui y est attachée par un bout et dont l'autre pend dans la nacelle. Cette corde est le salut du voyageur; car s'il ne pouvait ouvrir sa soupape, il serait le jouet de son ballon, et c'est alors qu'il courrait le danger de le voir s'élever à des hauteurs où il crèverait par la trop grande dilatation du gaz. On doit donc s'assurer soi-même que cette corde est forte, solidement fixée à la soupape, et qu'elle l'ouvre et la ferme avec facilité. Il est même prudent, pour plus de sûreté, dit Biot, d'avoir deux cordes pareilles attachées à la même soupape.

352. Quelle que soit la hauteur à laquelle on désire de s'élever, il ne faut jamais se défaire de tout son lest; car, lorsqu'on a ouvert la soupape pour redescendre, le ballon, devenu plus lourd, descend en effet par l'excès de son poids; il est alors soumis à l'action de la pesanteur, et la résistance de l'air seule ralentit sa chute. Si on l'abandonne à lui-même, il acquiert ainsi une vitesse qui devient très-dangereuse quand on arrive à heurter la terre. C'est ce choc qu'il faut prévenir en jetant d'avance et peu à peu le lest qu'on a conservé. La diminution successive du poids compense l'accélération de la pesanteur, et vous amène doucement vers la terre; elle permet même de s'arrêter à une petite distance de sa surface, si le lieu où l'on descend semble offrir quelque danger.

353. Au moment où l'on part, il est très-imprudent d'enfler entièrement l'aérostat. Car, à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, l'air et la pression devenant moindres, le gaz hydrogène se dilate; et si le ballon a été complètement gonflé d'abord, bientôt il est nécessaire de faire sortir une certaine quantité de gaz par les soupapes de sûreté que gouverne l'aéronaute. Si, au contraire, le ballon, à la surface de la terre, n'a été qu'à moitié rempli, et que cela suffise pour lui donner une force ascensionnelle assez grande pour

---

moyen d'ascension avec celui de l'air dilaté par le feu. Il employait deux ballons l'un au-dessus de l'autre, dont le supérieur était rempli de gaz hydrogène, et l'inférieur d'air échauffé. C'était établir un fourneau sous un magasin à poudre : aussi Pilastre périt-il victime de son invention. Un autre physicien italien, Zambaccari, eut le même sort, après plusieurs tentatives constamment malheureuses.



l'enlever avec le conducteur, sa nacelle et tout ce qu'elle contient; à mesure qu'il montera, le gaz intérieur se dilatera pour se mettre à la même pression que l'air extérieur. Celui-ci devient, à la vérité, moins lourd; mais le volume du ballon augmente précisément dans le même rapport, et compense cette diminution; par conséquent la force ascensionnelle dans cet air raréfié est encore la même qu'à l'instant du départ.

MM. Biot et Gay-Lussac, dans leur voyage aérostatique, ont profité de cette remarque, qui fut faite, pour la première fois, par M. Charles.

M. Biot dit qu'en pratiquant soigneusement le petit nombre de précautions qu'on vient d'expliquer, on peut être assuré que les voyages aérostatiques n'offrent absolument plus aucun danger.

Des Parachutes.

354. Le ***Parachute***, ainsi que son nom l'indique assez, est un instrument destiné à contrebalancer, jusqu'à un certain point, l'effet de la pesanteur, de manière à rendre à peu près nul le choc qu'elle causerait naturellement à un corps qui tombe de très-haut. Ce n'est autre chose qu'un vaste parapluie de 25 à 30 pieds de diamètre, formé de fuseaux en taffetas cousus ensemble; au centre est une cheminée d'environ 3 pieds de hauteur, qui permet à l'air de s'échapper avec rapidité sans nuire sensiblement à la résistance qui modère la vitesse et la rend uniforme.

355. L'usage des parachutes, perfectionnés dans ces derniers temps, facilitera beaucoup les expériences sur les aérostats, et rendra moins périlleuses les tentatives qu'on fera pour trouver le moyen de diriger à volonté les ballons.

356. On sait que plus d'une fois des malheureux, obligés de se précipiter d'un lieu élevé, se sont servis d'un parapluie tendu qu'ils tenaient au-dessus de leur tête pour amortir la chute. L'aéronaute fait la même chose avec son instrument, qui, beaucoup plus large et plus léger, éprouve davantage de résistance de la part de l'air, et, par conséquent, amortit plus efficacement la chute. Ceux qui entreprendront à l'avenir des voyages aériens, ne négligeront pas sans doute de se munir de parachute dont l'efficacité est déjà prouvée par un très-grand nombre d'expériences heureuses. Mademoiselle Garnerin a eu plus d'une fois le courage audacieux de s'élancer du ballon qui la soutenait à des hauteurs immenses : d'abord entraînée par son poids, elle tombe d'un mouvement accéléré; mais, après la première ou la deuxième seconde, le parachute, entièrement développé, exerce contre l'air une résistance qui contre-balance la

force de gravité, et la chute devient lente et uniforme; alors l'aréonaute tombe jusqu'à terre sans secousse.

REMARQUE. On a coutume maintenant de donner aux parachutes une grandeur telle qu'ils ne puissent descendre d'un mouvement uniforme qu'avec une vitesse de onze pieds par seconde environ : c'est à peu près celle avec laquelle on arrive sur le sol en sautant d'une chaise élevée de deux pieds.

Utilité des Aérostats.

357. Quoiqu'on ne soit pas encore parvenu à diriger à son gré les aérostats, leur invention n'en est pas moins utile. Elle peut servir à découvrir les objets qui sont derrière une haute montagne inaccessible. Elle peut aussi servir à l'armée pour observer ce qui se passe dans le camp de l'ennemi : déjà on l'a employée utilement à cet usage*. Mais, dans ces cas-là, il faut retenir l'aérostat par le moyen d'une corde, pour empêcher que le vent ne l'emporte et pouvoir le faire descendre où l'on veut.

LEÇON XXIII[e].

LES GAZ. LEUR PRESSION ET LEUR ÉQUILIBRE.

Des Gaz. Leur pesanteur. Leurs forces moléculaires. Leur égalité de pression. — Les expériences du crève-vessie et des hémisphères de Magdebourg prouvent la pression de l'air dans tous les sens. — Mesure de la pression atmosphérique. — Expérience de Torricelli. — Expérience faite sur le Puy-de-Dôme. — Effet de la pression de l'air sur le corps de l'homme. — Équilibre des gaz. — Du Syphon. — Du vase de Tantale. — Des fontaines naturelles intermittentes.

Des gaz ou fluides élastiques.

357. On a donné le nom de *gaz* ou *fluides élastiques* à tous les corps qui ont de la ressemblance avec l'air par leur transparence, par leur fluidité et par l'ensemble de leurs propriétés physiques; tous sont soumis à deux espèces de forces, comme les solides et les liquides, savoir : à la force de la pesanteur et aux forces moléculaires.

Pesanteur de l'air.

358. La pesanteur de l'air, qui avait été soupçonnée autrefois, n'est plus contestée aujourd'hui. Pour démontrer cette vérité

---

* En 1794, à la bataille de Fleurus, le général Jourdan fit élever au-dessus de l'armée un ballon qui était retenu à une hauteur médiocre, et d'où un aéronaute observait tous les mouvemens, puis indiquait au général les points sur lesquels il devait porter des renforts.



fondamentale, on fait le vide dans un grand ballon, au moyen de la machine pneumatique; on le suspend ensuite à l'un des bras d'une balance, et de l'autre côté on met des poids pour établir l'équilibre. Si après cela on ouvre un instant le robinet pour laisser rentrer un peu l'air, l'équilibre est troublé, le ballon entraîne le bassin, et il faut y ajouter des poids pour contre-balancer l'effet; si l'on rouvre le robinet encore un instant, il arrive une nouvelle augmentation de poids, enfin si on laisse rentrer l'air complètement, on trouve que, pour rétablir l'équilibre, il a fallu mettre dans le bassin opposé une quantité de poids très-sensible.

Par exemple, pour un ballon contenant 10 litres, la différence des poids surpasse 10 grammes; ainsi, par une première approximation, 1 litre d'air, dans l'état ordinaire, pèse un peu plus d'un gramme; c'est-à-dire que l'eau n'est pas mille fois plus pesante que l'air que nous respirons.

Des forces moléculaires dans les gaz.

359. Les forces moléculaires n'agissent pas dans les gaz comme dans les solides et les liquides; au lieu de s'attirer réciproquement, toutes les molécules tendent à s'éloigner les unes des autres, et s'éloignent en effet jusqu'à ce qu'elles rencontrent des obstacles qui les arrêtent. Ainsi, l'air qui est renfermé dans un vase, fait sans cesse un effort contre les parois pour les presser et les repousser plus loin; et il faut toujours ou que les parois éclatent sous cette pression, ou qu'elles soient assez fortes pour y résister.

360. Cette propriété remarquable de l'expansibilité des gaz se démontre directement par l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE.

Sous le récipient de la machine pneumatique on met une vessie à moitié pleine d'air; après quelques coups de piston, on voit la vessie se gonfler de plus en plus et finir par prendre tout le volume dont elle est susceptible: elle se tend comme si on y soufflait de l'air avec une grande force. L'air intérieur qu'elle contient faisait donc un effort pour repousser les parois, puisqu'il les repousse en effet dès que, par le jeu de la machine, on enlève l'air du récipient qui arrêtait cet effort.

Au lieu d'une vessie, on pourrait mettre sous le récipient un vase de verre très-mince, fermé par un bouchon; alors en faisant le vide, on verrait sauter le bouchon, ou bien peut-être le vase se briserait.

Cette pression, que l'air exerce contre les parois des vases qui le contiennent, est ce qu'on appelle *son élasticité*, ou *sa force expansible*, ou *sa tension*.

De l'égalité de pression dans les gaz.

361. Le principe de l'égalité de pression dans les gaz se vérifie à l'aide d'un appareil qui consiste en un cylindre creux MN (fig. 119) dans les parois duquel on a percé, à différentes hauteurs, des ouvertures o, o', o'', o''', qui reçoivent chacune un tube de verre recourbé à angles droits et présentant deux branches verticales *ab*, *cd*. Ces tubes renferment un liquide coloré qui se met de niveau dans leurs branches. Le cylindre est fermé par le haut et ouvert en bas : on le plonge dans un vase rempli d'eau, et l'on voit, à mesure qu'il s'enfonce, le liquide monter également dans tous les tubes. Pour que ce cylindre pénètre dans le liquide, il faut nécessairement exercer sur sa partie extérieure une certaine pression ; l'air intérieur se trouvant alors lui-même comprimé, il transmet la compression également à tous les points de sa masse, puisque son effet se manifeste dans les petits tubes par une même élévation de liquide.

De la pression de l'atmosphère.

362. On peut constater expérimentalement que l'air exerce une pression en tous sens, à la manière des liquides.

EXPÉRIENCE DU CRÈVE-VESSIE.

On met sur le plateau de la machine pneumatique une espèce de manchon de verre très-épais (fig. 120), fermé à sa partie supérieure par une vessie *abc* bien tendue et fortement arrêtée. Cette membrane éprouve, d'une part, la pression de l'air extérieur qui tend à l'abaisser, et de l'autre, la pression de l'air intérieur qui tend à la soulever ; de telle sorte qu'elle reste en équilibre entre ces deux actions opposées. Si par quelque moyen on soufflait dans le vase une nouvelle quantité d'air, la pression intérieure deviendrait la plus forte, et la membrane se renflerait en dehors ; au contraire, si on enlève de l'air, la pression intérieure deviendra plus faible, et la membrane, cédant à la pression extérieure, devra fléchir et s'enfoncer en dedans. C'est ce dernier effet qu'on obtient en faisant jouer la machine pneumatique ; car elle aspire peu à peu tout l'air qui est contenu dans le vase : dès les premiers coups de piston, on voit la membrane fléchir sous la pression extérieure, puis elle s'abaisse de plus en plus ; enfin quand le vide est fait, elle est très-tendue et par conséquent très-pressée. Alors, si l'on donne avec le doigt un coup, même très-léger, au milieu de la membrane, elle éclate en mille pièces, et l'on entend une explosion plus forte qu'un

coup de pistolet, tant est grande la pression de l'air extérieur et l'effort qu'il fait pour rentrer dans le vase.

Au lieu d'une pression de *haut en bas,* on en aurait une *latérale*, si le crève-vessie était de la forme (fig. 121); elle s'effectuerait de *bas en haut*, en employant le vase représenté par la figure 122. Ces dernières pressions ne produisent pas moins d'effet que la première, comme il est facile de s'en assurer par l'expérience; ce qui prouve bien que l'air presse également dans tous les sens.

363. La pression de l'atmosphère se démontre encore par une autre expérience fort curieuse que nous devons à Otto de Guerick, consul de Magdebourg.

EXPÉRIENCE.

On prend deux hémisphères creux de même diamètre (fig. 123), que l'on joint ensemble; et, afin de rendre leur jonction plus facile et plus exacte, on place un cuir mouillé entre les deux bords; ensuite, après avoir fixé celui qui est armé d'un robinet au plateau de la machine pneumatique, on fait le vide en ayant soin de presser un instant l'hémisphère supérieur. Quand le vide est parfait, on ferme le robinet qui communique avec la machine et on enlève la sphère; alors il faut les plus grands efforts pour séparer les deux parties. Cet effet ne peut être attribué qu'à la pression atmosphérique; car, si l'on ouvre le robinet, l'air rentre aussitôt et les deux hémisphères se séparent avec facilité.

Cette expérience est connue en physique sous le nom d'*expérience des hémisphères de Magdebourg*.

Mesure de la pression atmosphérique.

364. La pesanteur de l'air était déjà bien établie, qu'on expliquait encore les phénomènes d'ascension de l'eau dans les pompes, du mercure dans le baromètre, en disant que la nature avait *horreur du vide,* et qu'elle y poussait les liquides afin de le remplir. Il fallut que le hasard fît naître une circonstance heureuse pour dissiper cette erreur.

Des fontainiers de Florence, ayant construit une pompe dont les tuyaux avaient plus de 32 pieds d'élévation, observèrent avec surprise que l'eau refusait de monter jusqu'à leur sommet. Considérant ce phénomène comme un caprice de la nature, ils allèrent en demander l'explication à Galilée, qui, pris au dépourvu, leur répondit qu'apparemment la nature n'avait horreur du vide que jusqu'à la hauteur de 32 pieds. Dès lors, ce philosophe commença à se révolter contre l'horreur du vide, et supposa que la pesanteur

de l'air était la véritable cause du fait observé et de tant d'autres semblables; mais n'ayant probablement pas encore arrêté tout-à-fait ses idées sur un sujet si nouveau, il mourut sans faire connaître son secret. Ce fut Torricelli, disciple de Galilée, qui mit cette découverte dans tout son jour; il conjectura que l'eau s'élevait dans les pompes par la pression de l'air extérieur, et que cette pression n'avait que la force nécessaire pour contre-balancer le poids d'une colonne d'eau de 32 pieds. Son raisonnement fut confirmé, en 1643, par l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE DE TORRICELLI.

365. On prend un tube de verre de trente pouces, fermé par un bout; on le remplit de mercure, et, après l'avoir bouché avec le doigt, on le retourne verticalement pour en plonger l'extrémité ouverte dans une cuvette remplie du même liquide (fig. 124). Aussitôt qu'on retire le doigt, la colonne intérieure descend, puis s'arrête à la hauteur d'environ 28 pouces. Cette élévation étant à celle de 32 pieds, dans le rapport inverse des densités de l'eau et du mercure, Torricelli en conclut que c'est réellement la pression de l'air qui détermine l'eau ou le mercure à s'élever jusqu'à ce qu'il y ait équilibre.

Ainsi, deux colonnes de même base, l'une d'eau et l'autre de mercure, doivent être en équilibre, lorsqu'elles ont respectivement 32 pieds et 28 pouces de hauteur; et chacune séparément fait équilibre à une colonne atmosphérique de base égale, quelle que soit d'ailleurs la hauteur où elle puisse s'élever.

EXPÉRIENCE DU PUY-DE-DÔME.

366. L'expérience de Torricelli fut répétée en 1646 par Pascal, et, l'année suivante, il imagina de la rendre plus décisive, en invitant son beau-frère Perrier, qui demeurait à Clermont en Auvergne, de la faire à différentes hauteurs sur la montagne du Puy-de-Dôme, et d'observer si la colonne de mercure descendait dans le tube à mesure qu'on s'élevait davantage. Les résultats confirmèrent non-seulement l'hypothèse de la pesanteur de l'air, mais encore l'idée de l'abaissement du mercure en s'élevant dans l'atmosphère.

367. Ceci donne un moyen de peser exactement une colonne d'air atmosphérique, et par suite de trouver le poids de la masse totale de l'air qui enveloppe le globe terrestre.

Pour cela, ayant d'abord remarqué que la colonne de mercure n'était pas la même pour les lieux plus ou moins élevés, tandis que sur les bords de la mer, elle est ordinairement de 76 centimètres,

on s'est fixé à cette dernière hauteur. Alors, en supposant un centimètre de base au tube employé, la colonne soulevée aura évidemment un volume de 76 centimètres cubes; et son poids, qui équivaut à la densité multipliée par le volume, est conséquemment de $13^{gr},59 \times 76$ ou de 1033^{gr}, la densité du mercure étant de $13^{gr},59$, comme on le verra plus loin. La colonne d'air atmosphérique qui repose sur la mer et qui a un centimètre de base, pèse donc dans toute sa hauteur 1033^{gr} ou $1^{kilogr},033$. En poussant plus loin le calcul, on déterminera le poids de toute l'atmosphère; car, il est évident que ce poids est égal à $1^{k},033$ répétés autant de fois que la surface de la terre contient de centimètres quarrés. Or, le rayon du globe étant de 6366745 mètres, sa surface est d'environ 100 000 myriamètres, ou 100 000 000 000 000 000 centimètres quarrés, par conséquent 103 300 000 000 000 000 kilogrammes expriment le poids total de l'air atmosphérique, c'est-à-dire de l'air, des vapeurs et des gaz de toute espèce dont l'ensemble compose l'atmosphère. Voilà le poids énorme qui charge la terre et que niaient sérieusement les anciens philosophes.

Des effets de la pression de l'air sur le corps de l'homme.

368. On a calculé l'effet que la pression atmosphérique exerce sur le corps de l'homme, et on a trouvé qu'elle équivaut à près de 12400 kilogr., sa surface ayant environ 12000 centimètres quarrés.

Si cette pression considérable a lieu sans gêner nos mouvemens, c'est qu'elle se trouve continuellement balancée par la réaction des fluides élastiques renfermés dans les cavités intérieures du corps. Les variations successives et lentes de l'air ne nous affectent ordinairement que d'une manière peu sensible; mais s'il arrive un changement brusque dans la pression extérieure, comme quand on s'élève à une grande hauteur, la rupture d'équilibre qui en résulte a une influence très-marquée sur l'économie animale. L'homme éprouve alors une fatigue extrême, une impuissance absolue de continuer sa marche, un assoupissement auquel il succombe malgré lui : la respiration devient pressée et haletante; les pulsations s'accélèrent et quelquefois même le sang suinte par les pores de la peau. Pour expliquer ces effets, observés par Saussure, on a considéré que l'état de bien-être; dans tout ce qui dépend de la respiration, exige qu'une quantité d'air déterminée traverse les poumons dans un temps donné. Si donc l'air que nous respirons devient beaucoup plus rare, il faudra que les inspirations soient plus fréquentes à proportion; ce qui rendra la respiration plus pénible, et occasionnera les divers symptômes précités.

Nous ne parlerons pas des inconvéniens qui résulteraient d'un air trop condensé, l'homme n'y étant pas exposé par l'action des causes naturelles.

De l'équilibre des gaz.

369. On peut considérer les gaz de deux manières : contenus dans un vase indéfini ou dans un vase limité.

Dans le premier cas, les conditions d'équilibre sont, 1° que la surface supérieure du gaz doit être de niveau, et qu'à cette surface les atômes sont maintenus par l'action de deux forces opposées, savoir : la répulsion des molécules inférieures qui tend à les écarter de la masse, et la pesanteur qui tend à les porter vers la terre; 2° que dans chaque couche de niveau le fluide doit être homogène et sa tension constante; 3° que la densité doit augmenter à mesure qu'on s'éloigne de la surface supérieure du gaz et qu'on s'approche de la terre.

L'équilibre d'un gaz renfermé dans un vase limité est analogue à celui d'un liquide qui remplit un vase fermé de toutes parts, et dont la surface est pressée par des pistons. Alors le fluide se moule sur la forme du vase qui le contient, et les conditions d'équilibre se réduisent à la seconde et à la troisième de celles rapportées précédemment; si le vase a peu d'étendue, on fait encore abstraction de la troisième condition, parce que la différence de densité des couches est presqu'insensible.

Du Syphon.

370. On appelle *syphon* un tube recourbé ABC à deux branches inégales AB et BC (fig. 125).

371. Cet instrument, qui sert à transvaser les liquides, doit ses effets à la pression de l'atmosphère. Pour en montrer l'usage, soit *mn* un vase plein d'eau qu'on se propose de faire passer dans le flacon *z* (fig. 126) : alors on place la plus courte branche AB dans le liquide, et on aspire par l'extrémité C de l'autre, de manière à raréfier l'air de l'intérieur du tube ; l'eau s'introduit à l'instant dans celui-ci ; on retire la bouche quand le syphon est plein * ; aussitôt l'écoulement commence et continue jusqu'à ce que l'orifice de la branche AB ne plonge plus dans le liquide.

La force qui, au moment de la succion, fait monter l'eau dans la petite branche, est, comme nous l'avons dit, la pression exercée par l'atmosphère sur le vase *mn*, qui l'y pousserait avec l'énergie que

* Cette préparation est ce qu'on appelle *amorcer le syphon*.

nous lui connaissons, si le vide restait toujours fait à l'extrémité C; mais, au moment où l'on retire la bouche, la pression de l'air, agissant sur l'extrémité de la grande branche en sens contraire de celui dans lequel elle agit de l'autre côté de l'instrument, neutraliserait son action en ce point; de sorte que le liquide, pressé également des deux côtés, ne coulerait pas si les branches étaient de même longueur. Mais comme la branche qui communique avec le flacon est plus grande que celle qui plonge dans le vase *mn*, les deux colonnes qu'elles renferment ne peuvent se faire équilibre, et il doit tomber de la plus longue une quantité d'eau déterminée par l'excès de sa hauteur sur celle de la petite : or, comme il ne peut pas se former de vide dans le syphon, le liquide qui tombe est immédiatement remplacé, et l'écoulement continue ainsi jusqu'à ce qu'il soit tout entier passé d'un vase dans l'autre.

Il est aisé de concevoir que l'écoulement ne pourrait avoir lieu, si la petite branche étant plongée dans un liquide, sa hauteur dépassait 32 pieds, ou 104 décimètres.

372. Pour transvaser les liquides corrosifs, on joint au tube principal BC un tube latéral *sr* (fig. 127), et c'est par ce tube secondaire que se fait l'aspiration : on a encore soin de le renfler vers sa partie inférieure *r*, afin d'y accumuler le liquide, et dès qu'il y est parvenu, on arrête la succion.

Emploi du syphon pour détourner le cours des eaux.

Le syphon sert non-seulement chaque jour dans les arts et dans les usages domestiques pour transvaser, sans les troubler, les liquides dans lesquels il se forme un dépôt, ou bien lorsqu'on veut éviter de percer le fond du vase qui les renferme; mais on peut l'employer encore avantageusement pour détourner le cours d'une rivière, vider un lac ou un étang.

M. Lebrun, ingénieur, en fit une application heureuse en 1803; il parvint, au moyen d'un syphon de 8 centimètres de diamètre, à détourner l'eau de la Moselle et à la faire passer, en remontant son cours, au-dessus d'une digue qu'il s'agissait de réparer.

Pour amorcer les syphons employés à détourner le cours d'une rivière, ou à vider un étang, on les ferme aux deux bouts, puis on les remplit d'eau par l'ouverture pratiquée à leur partie supérieure.

Du vase de Tentale.

373. La construction du *vase de Tentale* est fondée sur la théorie du syphon. Cet appareil assez curieux est composé d'un verre ordinaire (fig. 128), dans l'intérieur duquel se trouve un tube recourbé *abc*; la plus courte branche *ab* est contenue dans le verre, tandis que la plus longue sort par le pied sur lequel il est monté.

EXPÉRIENCE.

Si l'on verse de l'eau dans le verre de manière à ne pas couvrir le sommet *b* du syphon, on n'observe rien de particulier; mais du moment que le niveau du liquide dépasse le sommet *b*, il s'écoule par la plus grande branche; et l'on a beau verser du liquide, on ne parvient jamais à remplir le vase.

REMARQUE. Cet appareil doit probablement son nom à ce que la petite statue qu'on emploie ordinairement à sa construction, se trouvant plongée dans l'eau jusqu'à la bouche, sans y entrer jamais, représente assez bien l'image du supplice que ce roi de Lydie, selon la Fable, subit aux enfers, où il est consumé d'une soif brûlante au milieu d'un étang dont l'eau sans cesse échappe à ses lèvres desséchées.

Pour construire ce singulier bijou, voici la disposition qu'il faut donner au syphon que l'on cache dans l'intérieur de la statue : la plus courte branche s'élève du talon jusqu'au menton de la statue; de là elle redescend dans l'autre jambe, et traverse le support d'un verre à pied, dans lequel on introduit la statue, pour s'aller rendre dans un réservoir sur lequel ce verre repose. Alors, si comme précédemment, on ne verse d'abord de l'eau dans le verre que jusqu'au menton de la statue, il ne résulte aucun effet; mais dès que le liquide arrive à ses lèvres, le vase commence à se vider sans qu'on s'en doute.

Au moyen d'une simple modification de forme, on conçoit que ce vase pourrait également simuler le châtiment qu'éprouvent les Danaïdes, condamnées, dans le Tartare, toujours suivant la Fable, à remplir un tonneau percé.

Des Fontaines naturelles intermittentes.

374. On peut concevoir des syphons faits de manière que le réservoir et les branches ne soient pas aperçus; la nature en a probablement formé de semblables dans le sein de la terre, puisqu'elle nous offre en différens lieux des sources dont le jeu est analogue à celui du vase de Tentale.

Ces syphons, cachés dans l'intérieur du globe, servent à épuiser des cavités remplies d'eau auxquelles répondent leurs jambes les plus courtes; et lorsque les écoulemens qui fournissent le réservoir se font plus lentement que son évacuation, l'extrémité de la grande jambe devient une source ou une fontaine naturellement intermittente et périodique.

Soit *abcdef* (fig. 129) une cavité produite dans la terre: quand les eaux l'auront remplie jusqu'au point le plus élevé *d*, la fontaine coulera en *f* aussi long-temps que l'eau ne sera pas au-dessous de *mn;* alors elle cessera, et l'écoulement recommencera dès que les pluies auront ramené l'eau à la même hauteur *d*.

On trouve des fontaines naturelles intermittentes en Allemagne, en Angleterre, en Italie et dans plusieurs provinces de la France, surtout en Languedoc et près de Pontarlier, en Franche-Comté.

LEÇON XXIVe.

LE BAROMÈTRE ET LE THERMOMÈTRE.

Invention du Baromètre. Ses diverses espèces. — Du Baromètre à cuvette. Moyens de le construire. Procédés qu'on emploie pour ramener le niveau du mercure au zéro de l'échelle. — Du Baromètre à syphon. — Du Baromètre à cadran. — Du Baromètre considéré comme indicateur du beau et du mauvais temps. Son emploi dans la mesure des hauteurs. Ses autres usages. — Du Thermomètre. Son origine. Ses différentes espèces. Sa construction. — Thermomètre à air. — Thermomètre métallique. — Thermomètre différentiel. — Usages du Thermomètre.

Du Baromètre.

375. On nomme *baromètre* l'instrument destiné à rendre sensible les changemens qui peuvent survenir dans la pression de l'atmosphère, par l'élévation ou l'abaissement d'une colonne de mercure renfermée dans un tube de verre.

L'invention du baromètre est due à Torricelli : c'est en imaginant de faire monter le mercure dans un tube par l'effet de la pression de l'air, qu'il donna naissance à cet instrument si utile dans une foule d'expériences.

376. On distingue deux sortes de baromètres, le *baromètre à cuvette* et le *baromètre à syphon*. Il en existe bien encore un troisième, dit à *cadran*, mais qui ne forme pas une espèce différente; cet instrument, objet de luxe plutôt que d'utilité, n'étant qu'un baromètre à syphon augmenté d'un mécanisme particulier et fort simple qu'on expliquera plus loin.

Du baromètre à cuvette.

377. Le *baromètre à cuvette* est composé d'un tube de verre tout droit, fermé par le bout supérieur et ouvert par l'autre qui plonge dans une cuvette plus ou moins large, remplie de mercure ainsi que le tube; le tout fixé sur une planchette graduée comme on le voit partout.

Sa construction.

378. Le moyen le plus simple de construire ce baromètre consiste à prendre un tube de trente pouces, fermé à l'une de ses extrémités, à le remplir de mercure qu'on a soin de purger d'air par l'ébullition, puis à le renverser dans une cuvettte de même métal en appuyant le doigt sur l'orifice. Après avoir retiré le doigt, on voit à l'instant la colonne de mercure descendre et s'arrêter à la hauteur d'environ

vingt-huit pouces. On attache alors le tube avec la cuvette sur une planche divisée en pouces et en lignes, ou en centimètres et millimètres *, à partir et au-dessus du *zéro*, qui correspond au niveau du mercure renfermé dans la cuvette.

379. Un baromètre ainsi construit donne des indications assez exactes tant que le vase dans lequel plonge le tube contient une quantité de mercure très-grande relativement à celle de la colonne; mais quand il est très-petit, comme cela a lieu dans les baromètres qu'on trouve ordinairement dans toutes les maisons, il survient une cause d'erreur à laquelle il faut savoir remédier. En effet, supposons que les variations de la température fassent baisser d'un pouce la colonne, ce sera autant de mercure qui tombera dans la cuvette, et cette quantité de mercure capable de remplir un pouce du tube, ajoutée à celui de la cuvette, fera nécessairement hausser le niveau, en sorte qu'il ne correspondra plus au *zéro* de l'échelle, qui est cependant le terme de départ qu'on avait fixé sur le premier niveau du mercure pour y rapporter l'observation de la hauteur de la colonne.

Il existera une cause d'erreur en sens contraire, si la colonne de mercure monte d'un pouce dans le tube après la construction du baromètre; car la quantité de mercure nécessaire pour produire cette élévation étant prise dans la cuvette, elle fera baisser le niveau, qui se trouvera alors au-dessous du *zéro* fixé.

Ainsi, soit que la pression de l'air diminue, soit qu'elle augmente, il est impossible, si l'on ne corrige pas la cause d'erreur qu'on vient de signaler, d'évaluer exactement les abaissemens ou les élévations de la colonne, qui doivent indiquer les changemens survenus dans l'atmosphère.

380. Pour faire disparaître cette variation du niveau du mercure de la cuvette, on a imaginé différens moyens, dont nous allons rapporter les plus généralement usités.

1° Dans certains baromètres, on a rendu l'échelle mobile dans le sens de sa hauteur, de manière qu'à l'aide d'une vis de rappel, on peut, chaque fois que l'on veut avoir une observation exacte, faire coïncider le *zéro* avec le niveau du mercure, et ramener ainsi l'instrument à ce qu'il serait si l'on venait de le construire sous la pression actuelle de l'atmosphère.

---

* La graduation de l'échelle se fait en centimètres à partir du *zéro* jusqu'à 70 centimètres (26 pouces), et passé ce terme on la continue en millimètres jusqu'à 78 centimètres (29 pouces). L'espace compris entre 70 et 78 centimètres est le *champ* des variations de la hauteur de la colonne de mercure.

2° Dans un autre genre de fabrication, on laisse le *zéro* invariable, mais on fait plonger entièrement la cuvette du baromètre dans le mercure d'une autre cuvette plus grande et qu'on peut abaisser à volonté. Lorsqu'on veut faire une observation, la précaution à prendre est relative à l'abaissement de la cuvette inférieure; car la quantité de mercure qu'elle contient étant toujours plus que suffisante pour laisser la cuvette du baromètre exactement pleine, on fait descendre le surplus avec la cuvette mobile, et le niveau conserve une situation constante par rapport à la graduation.

3° Enfin, des physiciens ont proposé, pour faire évanouir l'inconvénient que présente la variation de la ligne de niveau, d'établir, au-dessus et au-dessous du *zéro* de l'échelle, une division semblable à celle qui est tracée dans le champ des variations de la hauteur de la colonne de mercure. Alors une simple addition ou soustraction, suivant que le métal fluide descend ou s'élève dans le tube, suffit pour avoir la hauteur exacte du mercure au-dessus du zéro de l'échelle.

381. Pour construire un bon baromètre, il faut, 1° se procurer un tube de verre bien calibré, c'est-à-dire d'un diamètre égal dans toute sa longueur; 2° exposer le tube à l'action d'une forte chaleur, afin d'enlever à ses parois intérieures et l'air et l'humidité qui les pénètrent; 3° introduire dans le tube un petit entonnoir de verre bien net et bien chaud; 4° verser alors dans l'entonnoir, sans interruption, du mercure pur et bouillant, jusqu'à ce que le tube soit plein.

Du baromètre à syphon.

382. Le *baromètre à syphon*, ainsi nommé à cause de la forme du tube qui est recourbé à sa partie inférieure *b* (fig. 130), et par ce moyen tient lieu de cuvette, se compose conséquemment de deux branches *ba*, *bc*, fixées sur un montant en bois : l'*échelle des hauteurs* est ordinairement en métal; le *zéro* de sa division est invariable et se trouve au niveau du mercure de la petite branche; ce niveau changeant quand le baromètre change, il en résulte des erreurs d'autant plus grandes que la courte branche est plus étroite.

Cet instrument a l'avantage sur le baromètre à cuvette d'être indépendant de l'action capillaire du tube.

Parmi les baromètres à syphon, celui de M. Gay-Lussac est le plus précieux, tant pour l'exactitude de ses indications que pour la facilité avec laquelle on peut le transporter : on en trouve la description et l'usage dans la physique de Pouillet.

Du Baromètre à cadran.

383. Le *baromètre à cadran* est un baromètre à syphon dont

le mécanisme est une poulie mobile *a* (fig. 131), fixée par son centre à celui d'un cadran derrière lequel est attaché le baromètre. Cette poulie, à laquelle est une aiguille destinée à parcourir le cadran, porte deux petits poids, très-peu différens, suspendus aux extrémités d'un fil de soie : le plus lourd *p* pénètre dans l'intérieur du tube et tombe sur la surface du mercure dont il prend tous les mouvemens, et comme lui monte ou descend ; le plus léger *p'* est libre au dehors, fait contre-poids, en sorte que la poulie est toujours entraînée, tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre. Lorsque le poids *p* descend avec le mercure ou quand l'atmosphère est plus pesant qu'à l'ordinaire, l'aiguille va occuper le point le plus haut du cadran ; si le mercure s'élève dans la plus courte branche, en s'abaissant dans l'autre, le poids *p* monte avec lui, et l'aiguille vient se placer dans la partie inférieure du cadran ; enfin, quand le mercure reste à une hauteur moyenne, l'aiguille prend une position intermédiaire ; et, suivant ces diverses positions, l'aiguille marque la *tempête,* le *beau temps* ou le *temps variable.*

On préfère ce baromètre pour en orner un appartement ; mais il ne faut pas l'employer si l'on veut une grande exactitude. Dans tous les cas, avant de l'observer, il est bon de le frapper doucement, afin de vaincre le frottement de ses différentes parties.

Du baromètre considéré comme indicateur du beau et du mauvais temps.

384. On marque sur presque tous les baromètres le temps qui correspond avec telle ou telle pression de l'atmosphère. La plus grande élévation correspond au *beau fixe*, puis vient le *beau temps,* le *variable*, la *pluie*, le *vent*, etc. Ces indications sont fondées sur ce qu'assez ordinairement le baromètre monte aux approches d'un temps calme et serein, et baisse au contraire lorsqu'il y a de l'agitation dans l'air, ou que le temps se dispose à la pluie ; mais l'observation prouve que le beau temps et la pluie n'ont pas une influence constante et réglée sur les changemens du baromètre, qui ne peut indiquer d'une manière exacte que la pression de l'air. Ses indications, relativement au temps futur, sont le plus souvent équivoques, parce que la pluie et le beau temps sont des effets à la production desquels concourent différentes causes qu'il est difficile de connaître et d'apprécier, tandis que les changemens dans la hauteur de la colonne de mercure dépendent exclusivement des variations dans la pression de l'atmosphère.

Les premiers observateurs du baromètre crurent remarquer que le mercure s'élevait quand l'air était chargé de vapeur, et qu'il baissait quand il était serein. C'était une erreur à laquelle ils avaient sans doute été conduits par

l'idée que l'air, chargé de vapeur, doit être plus lourd que l'air sec; et c'est le contraire qui est vrai. La vapeur d'eau étant un tiers environ plus légère que l'air, on ne doit pas s'étonner de voir que le baromètre baisse quand celui-ci en contient.

385. Le mercure monte à la même hauteur dans le tube du baromètre, soit qu'il se trouve situé en plein air, soit qu'on le place dans une chambre bien close. Dans le premier cas, la colonne de mercure élevée dans le tube fait équilibre avec la colonne d'air qui presse le mercure de la cuvette, et, dans le second cas, l'air contigu au mercure de la cuvette agit sur lui par sa force élastique, laquelle, à température égale, équivaut à la pression de la colonne d'air qui y repose lorsque le baromètre est en plein air; car l'air intérieur d'une chambre communique ou a déjà communiqué avec l'air extérieur qui réagit en tous sens avec une force aussi intense que celle qui le comprime.

De la mesure des hauteurs par le Baromètre.

386. Des procédés géométriques ont d'abord été employés à mesurer les hauteurs des montagnes; mais l'expérience du Puy-de-Dôme (366) donna l'idée de faire servir le baromètte au même objet. Pour cela les physiciens ont commencé à perfectionner cet instrument au point de rendre appréciables les plus légères altérations dans la hauteur de la colonne métallique, de manière qu'aujourd'hui il offre une méthode simple, qui le dispute, pour l'exactitude, aux procédés trigonométriques.

387. On savait par l'expérience de Perrier qu'une ligne de diminution dans la hauteur de la colonne de mercure répond à une élévation de 75 pieds; ce qui, traduit en nouvelles mesures, donne 108 décimètres d'élévation pour chaque *millimètre* dont le mercure s'abaisse. Ce moyen, qui n'est qu'approximatif, ne doit être employé que dans le cas où la hauteur de l'objet à mesurer n'excède pas 1200 toises; passé cette limite, la densité de l'air diminuant sensiblement à mesure qu'on s'élève, la même dépression d'une ligne correspond à une plus grande élévation; on fait alors usage d'une autre méthode beaucoup plus exacte, applicable à toutes les hauteurs auxquelles on peut parvenir, et fondée sur la loi suivant laquelle décroissent les densités de l'air; mais les bornes que nous nous sommes prescrites ne permettent pas de l'exposer ici, par rapport aux hautes considérations de calcul qu'elle renferme. Ceux qui désireront la connaître, pourront consulter la physique de Libes et celle d'Haüy, où elle se trouve développée d'une manière claire et précise.

Divers autres usages du Baromètre.

Cet instrument sert à l'agriculteur pour le diriger dans les conjectures qu'il tire de certains signes locaux qui lui sont particuliers, et sur lesquels il base ses importans travaux ; il en fait son moniteur constant, un aide qui ne se repose jamais, et dont les services lui sont aussi utiles que peu dispendieux.

Sur le vaste Océan, il devient d'un intérêt bien plus précieux encore pour le marin, toujours errant sur les flots, privé de tout indice. Le capitaine habile se confie de nos jours à ce petit instrument ; c'est lui seul qui souvent donne l'ordre de serrer les voiles et de se préparer à la tempête, tandis qu'il y a encore peu d'années elle venait fondre à l'improviste sur un vaisseau au moment où il était dans la plus parfaite sécurité.

Le docteur Neil-Arnott dit avoir fait partie d'un nombreux équipage qui ne dut la vie qu'aux avertissemens presque miraculeux de cet instrument. Voici comme il rapporte ce fait intéressant autant qu'instructif, d'après la traduction de *T. Richard* :

« C'était dans une mer du Sud, le soleil venait de plonger majestueusement dans l'Océan, après une journée magnifique, et chacun, suivant l'usage, se préparait à jouir des plaisirs auxquels dispose dans ces climats la fraîcheur de la soirée, lorsque le capitaine vint troubler la fête par un ordre formel de se préparer en toute hâte pour la tempête. Le baromètre venait de s'abaisser avec une rapidité effrayante. Jusque-là cependant les plus vieux marins n'avaient vu dans le ciel aucun indice menaçant, et tout en obéissant avec ordre et précision aux commandemens du capitaine, ils ne pouvaient s'empêcher, sous un ciel pur et tranquille, de s'étonner de la célérité avec laquelle les divers ordres se succédaient, et des précautions presque minutieuses qu'il leur était commandé de prendre. Cependant tous les préparatifs nécessaires n'étaient point encore terminés, lorsqu'un ouragan effroyable, et tel qu'ils n'en avaient jamais bravé, fondit sur nous ; rien ne put y résister. Les voiles, déjà ferlées et solidement fixées aux vergues, se fendirent en lambeaux ; vergues et mâts eux-mêmes cédèrent pour la plupart à la tempête, et bientôt tout le gréement fut emporté par-dessus bord. Tels furent, pendant quelques heures, la fureur de l'ouragan, le mugissement des vagues et le grondement continu du tonnerre, qu'aucune voix ne se pouvait faire entendre ; le porte-voix lui-même tonnnait en vain au milieu de la consternation générale. Sans ce tube magique, pas un de nous n'eût vu se terminer cette nuit affreuse, et toute la force du noble vaisseau, toute l'habileté du capitaine, toute l'énergie des matelots, n'eussent opposé à l'impétueux orage qu'une résistance inutile. Le vent se calma au lever de l'aurore, et nous pûmes mesurer alors toute l'étendue du désastre. Ce n'était plus qu'une carcasse flottante qui nous portait sur une mer en fureur. »

Le baromètre *marin* diffère de ceux que nous avons décrits en ce que son tube, étranglé dans une partie de sa longueur, se réduit à un diamètre assez petit pour prévenir les mouvemens subits que prendrait le mercure avec les agitations du navire.

Le baromètre devient aussi bien important pour les ouvriers qui travaillent dans les mines où le *gaz hydrogène* se dégage. Lorsque le poids de l'atmos-

phère diminue, ce gaz, déchargé de la pression à laquelle il était soumis, sort des crevasses qui le retenaient et se répand dans les galeries de la mine, où son contact avec la flamme des lampes détermine de funestes explosions *. Quand le poids de l'atmosphère augmente, au contraire, le gaz est contenu dans ses limites, et le mineur peut avancer avec confiance.

Cependant, il faut dire que le danger des mineurs est de beaucoup diminué depuis l'invention si utile de la nouvelle lampe de M. Davy, à laquelle il a donné le nom de *lampe de sûreté*, parce que le tissu qui lui sert d'enveloppe ne permet pas au gaz qui l'environne de s'enflammer.

Du Thermomètre.

588. L'instrument qui sert à mesurer les variations de la température ** des corps avec lesquels on le met en contact, a reçu le nom de *Thermomètre*.

589. On attribue l'idée de cet instrument à un Hollandais nommé Drebbel; il se composait d'un tube de verre surmonté d'une boule très-mince, et ouvert à son extrémité inférieure qui plongeait dans un vase rempli d'eau colorée. Au moyen d'une flamme légère ou du simple contact de la main, on échauffait et dilatait l'air contenu dans la boule, et une partie de ce fluide, ainsi dilaté, s'échappait en marquant son passage à travers l'eau de la cuvette. Alors on retirait la main ou la flamme, et l'air qui restait, venant à se condenser par le refroidissement, permettait au liquide de s'introduire dans le tube jusqu'à une certaine hauteur par la pression de l'air extérieur. La chaleur ou le froid de l'atmosphère dilatant ou contractant l'air renfermé dans la boule, l'eau descendait ou montait

---

* Voici les effets que produisent trop souvent ces malheureuses explosions. Lorsqu'on exploite des mines de charbon de terre, et qu'en poussant les travaux, on vient à rencontrer dans les parrois quelque crevasse profonde qui n'a pas encore été ouverte, il arrive d'ordinaire que le gaz s'en dégage comme un courant impétueux, qui dure souvent plusieurs jours et quelquefois des années. Quand ce courant s'est suffisamment mêlé avec l'air atmosphérique que contient la mine, s'il rencontre les travailleurs avec leurs lampes allumées, il s'enflamme tout à coup avec une détonnation terrible. Ceux qui s'y trouvent d'abord ainsi exposés sont enveloppés de feu, misérablement déchirés et brûlés sur toutes les faces de leur corps; les travailleurs plus éloignés sont renversés et brisés par le mouvement de l'air; comme dans l'explosion d'un magasin à poudre : il n'y a point de machine ni de construction si forte qu'elle y résiste, et quelquefois la voûte même de la mine en est renversée.

** On appelle *température*, l'état d'un corps considéré comme *chaud* ou comme *froid*. Un corps est *chaud* lorsqu'il communique de la chaleur, *froid* quand il en enlève. Ainsi un corps froid renferme encore de la chaleur qu'il peut livrer à un corps plus froid que lui.

dans le tube; on marquait *zéro* au point où se tenait la liqueur à une *température moyenne :* les divisions supérieures indiquaient le *froid* et les inférieures le *chaud.*

Cet instrument était très-sensible; mais sa graduation incertaine et sa marche, compliquée à la fois des effets du thermomètre et de ceux du baromètre, s'opposaient à ce qu'il pût donner des indications exactes.

390. A ce premier thermomètre très-imparfait, qui parut au commencement du dix-septième siècle, succéda celui des académiciens de *Florence;* il consistait en un tube de verre, terminé aussi par une boule que l'on scellait hermétiquement par le haut, après l'avoir rempli d'une liqueur colorée jusqu'à vers la moitié de sa longueur. On appliquait ce tube sur une planche graduée et l'on jugeait de la dilatation ou de la contraction de la liqueur par le nombre des divisions parcourues.

Ce thermomètre, quoique préférable au premier, fut encore abandonné, par rapport à ce que tout étant arbitraire dans sa construction et dans la graduation de son échelle, deux de ces instrumens parlaient des langages différens et ne pouvaient mutuellement se servir d'interprètes.

391. Plusieurs autres thermomètres parurent successivement et tous les physiciens s'occupèrent à les rendre comparables entre eux, en déterminant d'une manière invariable les limites et les divisions de leur échelle, puis en substituant aux diverses liqueurs employées l'alcohol, le mercure et l'air, plus convenables aux services qu'on retire de cet utile appareil. Il en est résulté que, de nos jours, on ne considère plus que trois sortes de thermomètres, qui diffèrent entre eux seulement par la graduation de leur *échelle*, leur construction étant basée sur des principes certains et généralement adoptés; ce sont : pour la France, le *thermomètre centigrade* et le *thermomètre de Réaumur;* l'Angleterre et l'Allemagne faisant usage du troisième, dit *thermomètre de Fahrenheit*, du nom de son inventeur.

Chacun de ces trois instrumens consiste en un tube terminé par une boule A (fig. 132), ou une spirale B (fig. 133), et rempli d'alcohol rougi ou de mercure dont la colonnne qui occupe le tube, s'allongeant ou s'accourcissant selon que la chaleur augmente ou diminue, donne le moyen de mesurer les différentes températures par ces mouvemens, qu'on rend sensibles au moyen de l'échelle *ab* adaptée à l'instrument. Dans la graduation, on distingue deux limites, dont l'une, marquée *zéro* pour les deux premiers et 32° pour le troisième, répond au point d'abaissement de la colonne

lorsque la température est celle de la *glace fondante;* l'autre détermine le point ou s'arrête l'élévation de la colonne fluide à la température de l'*eau bouillante.*

Dans le *thermomètre de Réaumur* et dans le *thermomètre centigrade*, le 0 de l'échelle indique le terme de la *glace fondante*, tandis qu'il est marqué par 32° dans le *thermomètre de Fahrenheit;* mais l'intervalle compris entre ce point et celui de l'ébullition se trouve divisé en 80 parties égales ou *degrés* pour le premier, en 100 *degrés* pour le second et en 180 pour le troisième ; en sorte que l'échelle de ce dernier renferme en tout 32° marqués au-dessous de la limite de la glace fondante, et 180° tracés au-dessus, ou 212°, nombre écrit au terme extrême de l'ébullition. Quant aux deux autres, la graduation est continuée au-dessous de *zéro* comme au-dessus de cette limite * ; mais le nombre de ces dernières divisions est arbitraire, ou du moins subordonné à la nature du fluide employé.

392. Pour qu'un thermomètre soit bon, il est essentiel que le tube qui renferme la colonne de mercure ou d'alcohol soit parfaitement cylindrique, afin que chaque partie qui répond à la division

---

* Comme c'est le choix du nombre des divisions de l'*échelle thermométrique* qui constitue les différens thermomètres, et que ces instrumens ne peuvent être comparables que par la connaissance du rapport de leurs degrés respectifs, il est bon de présenter ici la manière de les convertir les uns dans les autres.

Or, en exprimant par R, C, F, chacun des degrés correspondans aux échelles des trois thermomètres dont il s'agit, il est évident que puisqu'on a

$$80R = 100C = 180F,$$

on aura encore

$$R = \frac{100C}{80} = \frac{180F}{80}, \quad \text{ou} \quad R = \frac{5}{4}C = \frac{9}{4}F,$$

$$C = \frac{80R}{100} = \frac{180F}{100}, \quad \text{ou} \quad C = \frac{4}{5}R = \frac{9}{5}F,$$

$$F = \frac{80R}{180} = \frac{100C}{180}, \quad \text{ou} \quad F = \frac{4}{9}R = \frac{5}{9}C.$$

Ce qui signifie, 1° que *un* degré de *Réaumur* vaut $\frac{5}{4}$ d'un degré *centigrade* et $\frac{9}{4}$ de celui de *Fahrenheit ;* 2° que le degré *centigrade* vaut $\frac{4}{5}$ du degré de *Réaumur* et $\frac{9}{5}$ de celui de *Fahrenheit ;* 3° enfin, que le degré de *Fahrenheit* équivaut aux $\frac{4}{9}$ du degré de *Réaumur* et aux $\frac{5}{9}$ du degré *centigrade.*

Ainsi, pour convertir, par exemple, les degrés de *Réaumur* et ceux de *Fahrenheit* en degrés *centigrades*, il suffira, dans le premier cas, de multiplier par $\frac{5}{4}$ les degrés de Réaumur ; et, dans le second cas, après avoir retranché 32° de ceux qui expriment la température donnée d'après Fahrenheit, de multiplier la différence par $\frac{5}{9}$.

de l'échelle, corresponde aussi à un même volume de mercure. L'échelle se trouve tracée sur une planchette ou sur une feuille mince de métal, à laquelle le tube est adapté comme le représente la figure 132.

393. Dans la construction de ces instrumens, on emploie le mercure de préférence à l'esprit de vin, parce qu'il produit des dilatations égales pour des augmentations égales de chaleur, et qu'il ne s'attache pas aux parois des tubes. Cependant il existe des circonstances où le thermomètre à alcohol l'emporte sur l'autre; c'est quand, par des moyens artificiels, on veut obtenir un *froid* qui passe 32° de Réaumur ou 40° du thermomètre centigrade au-dessous du 0 de l'échelle, terme qui détermine la congélation du mercure; alors il n'y a plus moyen de faire usage de ce métal, et il devient indispensable de se servir de l'alcohol, fluide avec lequel on a produit jusqu'à un froid de 60 à 80 degrés centigrades au-dessous de 0, sans qu'il ait donné un signe de commencement de congélation.

394. Pour compléter la connaissance de cet utile instrument, il reste encore à parler du *thermomètre à air*, du *thermomètre métallique* et du *thermomètre différentiel*. Ce qui suit suffira pour s'en former une idée exacte.

Thermomètre à air.

395. Le *thermomètre à air* consiste en uu tube recourbé et pourvu d'une boule. Cette boule est remplie en partie avec de l'air; le reste de l'espace contient du mercure ou un autre fluide, qui s'élève à peu près jusqu'à la moitié de la partie la plus allongée du tube. Lorsque l'air est échauffé, il se dilate et le mercure s'élève; quand l'air est refroidi, le mercure redescend. Comme l'air est bien plus mobile sous l'influence des changemens de température que les liquides, et à plus forte raison que les solides, ce thermomètre est très-bon dans les cas où il s'agit d'apprécier des différences de températures très-légères ou très-rapides; aussi divise-t-on son échelle en un plus grand nombre de degrés que dans les autres thermomètres.

Thermomètre métallique.

396. De tous les *thermomètres métalliques*, celui imaginé par *Breguet* est regardé comme le plus parfait et le plus commode; il se compose d'un assemblage de petites lames d'argent, d'or et de platine, larges de 1 à 2 millimètres, contournées en spirale, et portant à leur extrémité inférieure une aiguille légère, l'autre étant attachée à un support en cuivre qui laisse le système des petites

lames parfaitement libre et isolé (fig. 134) : le moindre changement de température fait tordre ou détordre la spirale, et tourner l'aiguille qui indique ce changement en parcourant les divisions d'un cercle évidé et posé horizontalement sur trois pieds très-minces, afin que l'air puisse circuler aisément entre tous les tours de la spire. La graduation s'effectue en comparant la marche de l'aiguille à celle d'un thermomètre à mercure très-sensible. On recouvre l'appareil d'une cloche de verre quand on a cessé d'en faire usage, pour le garantir de la poussière et de l'agitation extérieure.

Thermomètre différentiel.

397. Enfin, le *thermomètre différentiel* dû à M. Leslie, et dont les indications sont indépendantes de la température du milieu environnant, est un tube recourbé en forme d'un U (fig. 135), aux extrémités duquel se trouvent deux boules d'une égale capacité. L'auteur appelle *boule focale* celle que, dans les expériences, on expose toujours à la plus haute température. Lorsque cette boule est échauffée, l'air intérieur, en se dilatant, pousse de haut en bas une colonne d'acide sulfurique teint en rouge avec du carmin, qui passe, en partie, dans la branche opposée, où son mouvement est indiqué par une graduation appliquée à cette dernière branche. On gradue ce thermomètre en établissant une différence de dix degrés entre les températures des deux boules, de sorte qu'une de ses divisions équivaut à dix degrés centigrades.

Usages du Thermomètre.

Cet instrument est d'un usage précieux dans la physique, la chimie et les autres sciences naturelles. Il est la base de toute la théorie de la chaleur, comme le régulateur de toutes les opérations chimiques ; et sa présence est indispensable dans une infinité d'expériences, pour comparer les températures des corps, ou déterminer les variations qu'éprouve celle qu'ils avaient primivement. L'astronome le consulte à chaque instant dans ses observations, pour calculer les déviations que les rayons lumineux émanés des astres éprouvent en traversant l'atmosphère, qui les brise et les courbe plus ou moins, selon sa température. C'est lui qui détermine le degré de la chaleur animale, produite et entretenue par la respiration, de même qu'il fixe la température moyenne de la terre et des climats. Enfin, souvent il est utile d'avoir recours à ses indications pour entretenir la chaleur qui convient à la chambre d'un malade, à l'eau d'un bain, à une étuve, à une serre chaude, soit qu'on veuille, dans celle-ci, hâter la végétation des plantes indigènes ou conserver des plantes étrangères.

Les thermomètres métalliques, et surtout les thermomètres à air, qui se dilatent de la manière la plus uniforme, ont donné un moyen facile et sûr de comparer les différens résultats donnés par les thermomètres construits avec des liqueurs, et c'est par cette comparaison qu'on s'est principalement assuré

de la régularité de la marche du mercure et de sa supériorité sur tous les autres liquides qu'on aurait pu être tenté de lui préférer.

Quant au thermomètre différentiel, son auteur a eu pour but en le construisant de faire un appareil uniquement destiné à indiquer des différences de température; aussi ne peut-il jamais remplacer les autres thermomètres dans leur service, de même que ceux-ci ne peuvent lui être substitués dans aucun cas.

Son usage devient indispensable, qnand il s'agit de mesurer la chaleur réunie par la réflexion au foyer d'un miroir, parce qu'alors un thermomètre ordinaire, ou sous l'une des formes précédemment décrites, sensible aux variations de température de l'air environnant, donnerait des indications toujours inexactes; de là, l'utilité de cet instrument pour démontrer le rayonnement du calorique.

LEÇON XXV[e].

DES POMPES.

Leur définition. Leurs diverses espèces. Pompe aspirante. Pompe foulante. Pompe aspirante et foulante. Idée de la Pompe à incendie. Observations sur la construction des Pompes. Leur utilité. — De quelques autres machines hydrauliques. La Noria. Les roues persiques. La vis d'Archimède. La fontaine de Héron. — Idée de la Machine pneumatique. — Machine de compression. — Du Tâte-vin.

Des Pompes.

598. Les *pompes* sont des machines destinées à élever l'eau, soit qu'on veuille la porter où elle manque, soit qu'on se propose de dessécher les lieux ou elle séjourne.

599. Toutes les pompes peuvent se rapporter à trois espèces qui sont : la pompe *aspirante*, la pompe *foulante*, la pompe *foulante* et *aspirante*, autrement dite la pompe *composée*.

Pompe aspirante.

400. La *pompe aspirante* se compose d'un petit canal AH (fig. 136), qui plonge dans l'eau et se joint à un autre plus gros AB, appelé *corps de pompe*. Dans celui-ci, par le moyen d'une tige *mv*, on fait monter et descendre à volonté un piston *p*, qui est ordinairement un cylindre de bois ou de métal, arrondi autour, revêtu d'étoupe et qui remplit exactement la capacité intérieure du corps de pompe AB. Ce piston est muni d'une soupape *s* qui s'ouvre de bas en haut ; et à la jonction des tuyaux AH et AB, se trouve une seconde soupape *s'*, qu'on nomme *dormante*, qui s'ouvre dans le même sens que la première.

Quand on descend le piston *p*, la soupape *s'* reste fermée par son propre poids, mais la soupape *s* est soulevée par la force élastique

de l'air compris entre le piston et la soupape dormante, et cet air s'échappe. Lorsqu'on élève le piston *p*, il se forme un vide au-dessous de lui, la soupape *s* se ferme d'elle-même, par l'effet de son poids et par celui de la pression atmosphérique; la soupape s', au contraire, est soulevée par la force élastique de l'air compris entre elle et la surface de l'eau. Cet air se répand donc en partie dans l'espace vide qui est au-dessous du piston *p*, et, sa force élastique diminuant nécessairement, la pression de l'atmosphère fait monter l'eau à une certaine hauteur dans le petit canal AH. Si l'on abaisse de nouveau le piston, la soupape *s'* se fermera, l'autre s'ouvrira, et l'air de l'espace *ss'* s'échappera. On relevera le piston, la soupape *s* se fermera, *s'* s'ouvrira et laissera passer au-dessus d'elle une nouvelle quantité de l'air qui se trouve au-dessous; ce qui fera encore monter l'eau dans AH, et ainsi de suite.

On conçoit que ce jeu continuel du piston fera bientôt monter l'eau au-dessus de la soupape *s'*. Le piston étant alors amené en contact avec cette soupape, le liquide ira au-dessus de *s*, et une certaine quantité pourra être transportée, par ce piston, à telle hauteur qu'on voudra, et s'écouler par un conduit latéral C.

401. Pour qu'une pompe aspirante remplisse bien son objet, il faut que la soupape dormante *s'* ne soit pas placée à plus de 32 pieds au-dessus du niveau de l'eau du réservoir; car au-delà de cette limite, on aurait beau faire le vide dans le corps de pompe, jamais l'eau ne monterait jusqu'à la soupape *s'*, puisque le poids de l'atmosphère ne peut faire équilibre qu'à une colonne de 32 pieds d'eau. Mais, ce cas excepté, dès que l'eau arrive au-dessus de *s'* et qu'elle dépassse le piston *p*, il est possible de l'élever aussi haut qu'on le désire.

Pompe foulante.

402. Cette pompe a deux tuyaux : l'un AB (fig. 137) plonge dans le fluide qui s'y élève par la soupape *s'*, qui est placée au-dessous du niveau, aussitôt qu'on monte le piston *p*; l'autre tuyau *gh*, communiquant avec le premier comme l'indique la figure, est garni d'une soupape *s* qui s'ouvre en dedans. L'eau, fortement refoulée par le piston plein *p*, n'a pas le temps de s'échapper toute entière par la soupape *s'*; elle entre dans l'espace *sh* en poussant la soupape *s*, disposée de manière à se refermer d'elle-même et à ne plus laisser sortir l'eau. On monte, puis abaisse de nouveau le piston; en réitérant ce mouvement, le tuyau *gh* s'emplit, et l'eau parvient à l'ouverture *k*, d'où elle sort par le tube de conduite qui y est adapté.

Pompe aspirante et foulante.

403. Cette machine, appelée aussi *pompe composée*, parce qu'elle réunit les effets des deux précédentes, se construit en plaçant à la base *cd* (fig. 138) du corps de pompe, qui communique avec le réservoir au moyen du *tuyau d'aspiration* AH, une soupape dormante s', par où l'eau, dont le niveau est plus bas, montera et s'accumulera dans la partie $s'p$, en élevant le piston, pour se rendre ensuite par la soupape latérale *s* dans le tuyau adjacent FG; lorsque le piston *p* l'aura pressée en descendant.

Il est entendu que dans cette pompe il faut que la soupape s' soit à moins de 32 pieds au-dessus du niveau de l'eau, pour qu'on en puisse faire usage.

404. Lorsqu'on ajoute un réservoir d'air au tuyau latéral FG, on rend le jet continu. L'eau, par le jeu du piston *p*, s'élève dans le réservoir R (fig. 139), et commence d'abord à condenser l'air qui s'y trouve renfermé; après quelques coups de piston, l'eau sort par le tube *t*, et comme l'air presse continuellement sur la surface *ac* du réservoir, l'écoulement du liquide sera continu, tandis que dans la pompe précédente, il n'est produit que par l'abaissement du piston.

La pratique apprend qu'il faut donner au réservoir à air une capacité égale à 23 fois environ celle de la partie du corps de pompe parcourue par le piston.

La pompe foulante, ainsi modifiée, peut servir avec avantage comme pompe à arroser les jardins, les toiles à blanchir, etc.

De la Pompe à incendie.

405. La *pompe à incendie* en usage en France se compose de deux corps de pompe, entre lesquels se trouve un réservoir à air (fig. 140). On la pose dans un bassin rempli d'eau, placé sur un petit chariot; ce liquide est aspiré par la pompe et refoulé dans le bassin, d'où il est poussé à l'aide d'un tuyau en cuir dans la direction voulue : des plaques en cuivre à jour empêchent le gravier de pénétrer dans les corps de pompe.

Souvent les corps de pompe sont disposés de manière à commmuniquer à volonté avec une pièce d'eau. Dans chacun d'eux et dans le conduit d'air, existe une soupape qui permet le passage du liquide de la pièce d'eau dans le corps de pompe, et de celui-ci dans le réservoir.

Observations pratiques sur la construction des pompes.

406. Le jeu des pompes dépend principalement de la régularité du mouvement alternatif des soupapes. Il importe donc qu'elles

soient construites et disposées de manière qu'elles tiennent bien l'eau quand elles sont fermées, et qu'elles s'ouvrent avec facilité lorsque les circonstances le commandent. Les meilleures sont de métal et taillées en forme de cône tronqué.

407. On fait les pistons avec des rondelles de cuir serrées par deux autres de métal. Les pistons entièrement de métal sont préférables pour deux raisons : la première, parce qu'ils n'exigent aucune réparation ; la seconde, parce qu'ils sont moins susceptibles d'éprouver l'influence de l'humidité et de la sécheresse.

Utilité des pompes.

Ces importantes machines, que maintenant l'on rencontre partout, élèvent l'eau des puits, la font monter dans nos appartemens, dans nos fabriques, où elle vient servir à nos besoins, à notre industrie ; elles dessèchent les mines, soulèvent l'eau du sein de la terre, des rivières, des ruisseaux même, pour la distribuer dans les grandes villes ou la répandre en irrigations bienfaisantes sur les prairies qui embellissent la pente de nos montagnes ; elles font partie des navires, qu'elles soustraient souvent aux plus grands dangers ; enfin, elles servent contre les incendies, contre les chaleurs brûlantes de l'été, et dans diverses autres circonstances de la vie.

De quelques autres machines hydrauliques.

408. Avant l'invention des pompes, on employait à l'élévation des eaux un grand nombre de *machines hydrauliques* plus ou moins ingénieuses, dont nous allons rapporter la description et l'usage de quelques-unes des plus intéressantes.

La Noria.

409. Pour élever l'eau au-dessus de la surface de la terre, on imagina d'abord de suspendre deux seaux à une corde sans fin, c'est-à-dire circulaire, et de mouvoir ce système au moyen d'un axe horizontal et d'une manivelle. Ensuite, au lieu de deux vases seulement, on en fixa quatre, six, huit, dix, et jusqu'à trente, régulièrement espacés sur cette chaîne sans fin ; on les fit monter et descendre par la révolution d'un tambour, en leur donnant une disposition telle que les uns se vidaient arrivés au point le plus élevé de leur course, tandis que d'autres situés au point le plus bas de la chaîne, se remplissaient dans le même instant ; et cet appareil fut appelé *Noria*.

Les roues persiques.

410. Une grande roue, dont l'axe repose sur deux montans, plonge en partie dans le courant d'un ruisseau ou d'une rivière,

et en reçoit le mouvement ; elle porte à sa circonférence des seaux mobiles qui se remplissent successivement et se vident lorqu'ils ont atteint le point le plus haut de leur marche.

Dans une autre espèce, les seaux se trouvent supprimés, mais les rais de la roue sont alors creux et courbés ; leurs extrémités, en plongeant dans l'eau, en ramassent une certaine portion qui descend le long des rais à mesure que ceux-ci s'élèvent et se déchargent dans un réservoir établi au centre. Telles sont les machines qui ont reçu le nom de *roues persiques*.

Ces roues sont particulièrement employées aux arrosemens dans les campagnes et les jardins de la Perse ; et en Égypte, on en voit un grand nombre sur les rives du Nil.

La vis d'Archimède.

411. La *vis d'Archimède* consiste en un tube ou canal creux ouvert par ses deux bouts, et disposé comme le filet d'une vis, autour d'un cylindre incliné de quarante-cinq degrés. L'extrémité inférieure plonge dans l'eau, et quand par le moyen d'une manivelle coudée, appliquée à l'axe du cylindre, on lui imprime un mouvement de rotation, le liquide s'élève dans le tube spiral et y chemine jusqu'à l'orifice supérieur par lequel il s'écoule. La fig. 141 suffira pour faire comprendre le jeu de cette machine.

On donne encore une autre forme à la vis d'Archimède : ici, c'est un cylindre creux dans lequel on a introduit une vis dont le filet semble représenter un ruban, qui serait assujéti à s'appliquer par l'un de ses bords contre l'axe du cylindre, en suivant la trace d'une hélice décrite sur son contour.

La fontaine de Héron.

412. *Héron*, d'Alexandrie, mécanicien grec qui florissait 120 ans avant Jésus-Christ, est l'inventeur de cet appareil. Il se compose d'un bassin A et de deux vases fermés B et C (fig. 142), qui communiquent ensemble par autant de tubes : l'un *nz* descendant du fond du bassin jusqu'à vers le fond du vase inférieur C ; le second *xc*, s'élevant du sommet du réservoir C, traverse presque toute la hauteur du vase supérieur B, et le troisième *is*, s'élevant à une petite distance du fond du vase supérieur, va jusqu'à 1 ou 2 décimètres au-dessus du fond du bassin ; c'est par ce dernier que sort le jet de la *fontaine de Héron*. On met de l'eau dans le vase B, au moyen de l'ouverture *b* que l'on bouche ensuite ; on en verse pareillement dans le bassin A, qui descend par l'orifice *n* dans

le vase inférieur C ; dès qu'on ouvre le robinet *r*, le liquide s'élance de l'ajutage vissé à l'extrémité *s*, et s'élève à une hauteur peu différente de la longueur du tube *nz* qui met le bassin en communication avec le vase inférieur. Ce qui doit être, parce que la pression exercée par le poids de la colonne d'eau *nz* est en effet celle que supporte l'air enfermé dans les deux vases B et C.

Cette machine offre peu de service aux arts et métiers, quoiqu'elle soit devenue un objet de luxe ou d'embellissement pour les salons des riches, dans lesquels on la trouve en été au milieu des fleurs qui la décorent et la rendent plus agréable encore. La fontaine de Héron joue ordinairement pendant une heure, et pour répéter l'expérience, il suffit de transvaser l'eau du réservoir inférieur dans le réservoir supérieur.

Les charlatans emploient cet appareil pour en imposer à la multitude, en le faisant jouer de la manière suivante : Ils emplissent presqu'entièrement de vin le vase B, hors de la présence des spectateurs, et lorsqu'ils sont réunis, ils versent de l'eau dans le bassin, qui, en tombant dans le vase C, détermine le vin à jaillir par l'ajutage; alors ils ont le plus grand soin de cacher le mécanisme de la machine, qu'ils disent être *une fontaine qui rend du vin pour de l'eau qu'on lui donne.*

413. Nous pourrions rapporter encore plusieurs appareils aussi curieux qu'utiles, tels que le *moulin à chapelet*, le *bélier hydraulique*, la *fontaine intermittente*, la *fontaine de compression*, etc.; mais nous dépasserions trop les limites dans lesquelles nous devons nous renfermer, c'est pourquoi nous renvoyons aux livres de mécanique qui les expliquent tous.

Idée de la machine pneumatique.

414. L'invention de cette belle machine est due à Otto de Guérick. Elle consiste maintenant en deux corps de pompe dont les pistons sont fixés à deux crémaillères qui s'engrènent dans une roue dentée, mise en mouvement par un levier *ab* (fig. 143); les soupapes d'aspiration représentent des cônes garnis de cuir, qui s'engagent dans des cavités de même forme; ces soupapes tiennent invariablement à des tiges qui passent à frottement dur à travers les pistons; les pistons en s'élevant entraînent les soupapes jusqu'à une petite hauteur, et les ferment en s'abaissant. Quant aux soupapes des pistons, elles sont également coniques et retenues par un ressort en spirale; les deux corps de pompe communiquent par un même canal avec un orifice *o* percé au centre d'un plateau de verre dépoli, et sur lequel on pose les cloches ou récipiens qui servent de réservoir; la vis qui surmonte l'ouverture du canal sert à adapter les ballons, les tubes à robinets dont on veut supprimer l'air; le canal a aussi communication avec une petite cloche de verre *pq* renfermant un

baromètre raccourci *; enfin, deux robinets R et R′ sont destinés: le premier, à laisser rentrer l'air dans l'appareil et à intercepter ou à établir la communication entre le réservoir et les corps de pompe (la figure *r* en présente la perspective); le second, à faire communiquer l'éprouvette avec le grand réservoir.

Les figures 143 et 145 représentent la machine pneumatique vue de deux manières, de profil et de face, pour en faire saisir plus facilement la construction et le mécanisme.

Les soupapes d'aspiration sont coniques, afin qu'elles ferment plus exactement; elles sont soulevées par les pistons pour établir la communication du réservoir avec les corps de pompe, quelle que soit la force élastique de l'air renfermé dans le premier: le robinet R remplit deux fonctions différentes, la dernière est nécessaire pour conserver le vide; car c'est principalement par les corps de pompe que l'appareil peut perdre.

415. L'un des deux corps de pompe, dans cette machine, a spécialement pour objet de contre-balancer la force qu'il fallait exercer dans celle à un seul corps pour vaincre la pression de l'atmosphère, qui, vers la fin de l'opération, devient à peu près égale au poids d'une colonne d'eau de 32 pieds ayant le piston pour base. En effet, dans le jeu simultané des deux pistons, l'un s'élève et l'autre s'abaisse; par conséquent la pression de l'air extérieur sur celui qui s'abaisse, compense et détruit la résistance que produit la même force sur le piston qui s'élève.

Machine de compression.

416. La *machine de compression* (fig. 146) est destinée à accumuler l'air dans un récipient.

---

* Cet instrument, appelé *éprouvette*, se compose (fig. 144) d'un tube *acb* recourbé en forme de syphon, et haut environ de 8 à 10 pouces, ouvert en *a*, fermé en *b*, et contenant assez de mercure pour que la branche *cb* en soit entièrement remplie. Si l'on pouvait faire le vide parfaitement dans le récipient, comme l'éprouvette communique avec lui, il est évident que le mercure se mettrait de niveau dans les deux branches; car, puisqu'il laisse au-dessus de lui, dans *bc*, un espace complètement vide, il ne serait pas plus pressé d'un côté que de l'autre. Donc à mesure que l'air se raréfiera dans le récipient, le mercure baissera dans la branche fermée; mais il sera toujours plus haut dans cette dernière que dans la branche ouverte, et la différence de niveau, mesurée au moyen d'une échelle tracée à côté ou sur l'instrument, exprimera précisément le degré du vide dans le récipient.

Il est bon de faire observer que, dans les meilleures machines connues, on ne peut jamais obtenir un vide au-dessous de un ou deux millimètres; mais il est suffisant pour toutes les expériences de physique, même les plus délicates.

Cet appareil est absolument semblable à la *machine pneumatique*, seulement les soupapes sont toutes retenues par des ressorts en spirale, et s'ouvrent en sens contraire, c'est-à-dire de *haut en bas;* le récipient est fortement assujéti sur le plateau.

Lorsqu'on abaisse le piston, il comprime l'air du corps de pompe où il agit, et le force à passer dans le récipient ; quand on le relève, l'air extérieur ouvre la première soupape et entre dans le corps de pompe, tandis que l'air comprimé du récipient presse la seconde soupape et la tient fermée. Enfin, rabaissant le piston, la première soupape se ferme, l'air se comprime de plus en plus, devient capable d'ouvrir la seconde soupape et passe encore dans le récipient, et ainsi de suite.

L'éprouvette de cet instrument renferme un tube très-long, ouvert par les deux bouts, plongé par son extrémité inférieure dans une cuvette pleine de mercure. Avant de faire mouvoir la machine, le mercure reste à son niveau dans le tube; mais lorsque la force élastique de l'air accumulé dans le réservoir est deux fois plus grande, ou équivaut à deux atmosphères, le mercure s'élève à 0,76; si elle est de 3 atmosphères, il s'élève à 2 fois cette hauteur; à quatre, la hauteur devient trois fois plus considérable; et ainsi de suite.

La longueur du tube de cette éprouvette devient très-incommode lorsqu'on veut indiquer les pressions de plusieurs atmosphères : c'est pourquoi on se sert d'un tube limité et fermé à son extrémité supérieure; mais l'ascension de la colonne de mercure ne s'estimant dans ce dernier qu'à l'aide de calculs fondés sur des principes qu'on ne peut rapporter ici, nous renvoyons le lecteur aux ouvrages de Physique publiés par Despretz et Pouillet, s'ils désirent les connaître.

Du Tâte-vin.

417. Cet instrument, dont on fait dans le commerce un fréquent usage pour soutirer par la bonde d'un tonneau une partie du liquide qu'il renferme, est composé d'un tube cylindrique *ab* (fig. 147) de verre ou de métal, terminé aux deux extrémités par des cônes à orifices très-étroits.

Lorsqu'on plonge ce tube dans un liquide, les orifices *m* et *n* étant ouverts, le liquide s'introduit dans le tube et s'y élève jusqu'à ce qu'il parvient à la hauteur de son niveau extérieur. Si alors on bouche avec le doigt l'ouverture *m*, et que l'on enlève l'appareil, une partie du liquide monté dans le tube s'écoulera par l'orifice *n;* mais comme l'air ne peut y rentrer, celui qui s'y trouve renfermé se dilatera, perdra de sa force élastique, et l'excès de la pression de l'air extérieur qui agit à l'orifice *n* sur celle de l'air dilaté qui agit en sens contraire, soutiendra dans le tube le reste du liquide.

LEÇON XXVIe.

DE LA CAPILLARITÉ.

Des phénomènes capillaires. — Expériences qui en présentent les principaux faits. — Ce qu'on entend par ménisque concave et convexe. — Explication des phénomènes. — Théorie de Laplace. — Attractions et répulsions produites par la capillarité. — Absorption et filtration. — Application à l'économie végétale et animale, à divers usages domestiques et aux arts.

Phénomènes des tubes capillaires.

418. Lorsqu'on plonge dans un liquide l'extrémité inférieure d'un tube de verre, on voit la colonne de liquide qui s'introduit dans ce tube ne s'arrêter presque jamais au niveau extérieur : dans l'eau, par exemple, elle s'élève au-dessus (fig. 148), et dans le mercure, au contraire, elle s'abaisse au-dessous (fig. 149).

Ces faits singuliers d'*ascension* et de *dépression* ont reçu, dès leur découverte, la dénomination de *phénomènes capillaires*, parce qu'ils furent d'abord observés dans des tubes dont la cavité intérieure représentait un cylindre d'un diamètre assez étroit pour être comparé à un cheveau.

419. La force ou la cause qui les produit, qu'on désignait autrefois sous l'épithète d'*action* ou d'*attraction capillaire*, aujourd'hui s'appelle simplement *capillarité*.

Cette force n'agit pas seulement pour élever ou déprimer les petites colonnes liquides dans l'intérieur des tubes, mais elle s'exerce sans cesse au contact des liquides avec les solides, au contact des uns ou des autres entre eux, et généralement à celui de toutes les parcelles les plus ténues de la matière.

420. Dans les tubes plongés dans un liquide, on observe cette loi, que l'*ascension* ou la *dépression de la colonne intérieure du liquide est toujours en raison inverse de leurs diamètres.*

Expériences offrant l'ensemble des principaux phénomènes.

421. Nous allons présenter successivement les expériences qui constatent les phénomènes dus à l'attraction moléculaire, et dont l'existence semble renverser les principes des tubes communiquans (327).

1° Si l'on plonge un tube capillaire dans un vase rempli d'eau, on la voit monter dans le tube plus haut que dans le réservoir.

L'expérience réussit également avec deux lames de verre écartées par l'interposition d'un fil.

2° Un liquide ne monte pas au-dessus du niveau dans un tube dont la surface intérieure est frottée de matière grasse.

3° L'ascension d'un liquide dans les tubes capillaires est en raison inverse de leurs diamètres ; c'est-à-dire, par exemple, qu'elle est deux fois plus grande quand le diamètre se trouve deux fois moindre.

4° La hauteur du liquide au-dessus du niveau n'est pas en raison inverse de leur densité ; l'eau, qui est plus dense que l'esprit de vin, s'élève plus que cette dernière liqueur.

5° Lorsqu'on tire des tubes capillaires hors de l'eau, sans les agiter, une partie du liquide, égale à celle qui se trouvait au-dessus du niveau, reste suspendue vers l'extrémité inférieure de chacun d'eux.

6° Si on laisse couler une goutte d'eau sur la surface extérieure d'un tube capillaire incliné, elle s'élancera dans l'intérieur dès qu'elle sera parvenue vers l'orifice le plus bas.

7° L'eau s'élève dans un tube, comme s'il avait partout un diamètre égal à celui de la partie où elle s'arrête.

EXPÉRIENCE.

BCF est un appareil (fig. 150) composé de tubes capillaires BC et CF ; le premier peut élever l'eau d'une quantité *pm*, et le second ne la fait monter que de *o* en *d*.

Quand on place le dernier dans un vase plein d'eau *ghik*, la hauteur du liquide au-dessus du niveau est *od*; mais si l'on verse de l'eau jusqu'en *m*, la colonne entière *pm* demeure suspendue, comme si le tube avait, dans toute sa longueur, un diamètre égal à celui de BC.

On emploie cette expérience pour démontrer que l'attraction de l'eau qui environne l'extrémité supérieure de la colonne, est la principale cause de la suspension du liquide.

8° Le mercure s'abaisse dans les tubes capillaires d'une quantité qui est en raison inverse de leurs diamètres ; cependant quelques expériences faites à Metz, par le citoyen Casbois, prouvent que le mercure s'élève comme les autres liquides, toutes les fois que ce métal et le tube sont parfaitement desséchés.

Laplace et Lavoisier ont construit des baromètres où la colonne de mercure se terminait par une surface plane et même concave.

9° La surface du liquide renfermé entre deux lames de verre parallèles, dont la distance est capillaire, offre sensiblement un demi-cylindre, ayant l'axe horizontal et le diamètre égal à la distance des deux lames.

422. Tous ces phénomènes ont lieu dans l'air comme dans le vide. Ils sont entièrement indépendans de l'épaisseur du corps solide sur lequel ils se développent; ainsi, par exemple, l'eau monte à la même hauteur dans les tubes de verre de même calibre intérieur, quelle que soit d'ailleurs leur épaisseur.

Des Ménisques.

423. On a observé que, toutes les fois qu'il y a *ascension* dans un tube capillaire, le sommet de la colonne liquide prend et conserve la forme particulière d'une demi-sphère creuse, dont le diamètre est celui du tube (fig. 151); on l'appelle un *ménisque concave.* Au contraire, quand il y a dépression, le sommet de la colonne liquide devient un hémisphère plein et de même diamètre que le tube (fig. 152); on le nomme un *ménisque convexe.*

Ces formes sont essentiellement liées à l'ascension et à la dépression; car si l'on enduit de quelque corps gras la surface intérieure d'un tube de verre, et qu'on en plonge l'extrémité dans de l'eau colorée, on observe que non-seulement l'eau cesse de s'élever au-dessus du niveau, mais qu'elle reste *déprimée* dans ce tube enduit de graisse, et qu'en même temps le sommet de la colonne prend la forme du *ménisque convexe*, comme fait le mercure dans les tubes ordinaires. Il résulte de cette observation que *les différences de niveau dépendent de la forme du ménisque*, et qu'ainsi toutes les causes accidentelles qui pourraient empêcher celui-ci de prendre la forme exacte qu'il doit avoir, empêcheraient aussi, par cela même, le liquide de parvenir à la hauteur précise à laquelle il doit trouver la stabilité de son équilibre.

424. Les phénomènes des tubes capillaires sont devenus une branche importante de la Physique, et parce qu'ils servent à expliquer un grand nombre d'autres phénomènes de la nature, et parce qu'ils paraissent contrarier une des principales lois de l'équilibre des liquides.

Explication des phénomènes.

425. On attribue les effets des tubes capillaires à l'attraction moléculaire, parce qu'un liquide ne s'élève au-dessus du niveau que dans les tubes qu'il peut mouiller, ou qui ont de l'attraction pour ces molécules.

Quand on plonge une lame de verre *ab* dans un vase plein d'eau, ce liquide s'élève de chaque côté et forme deux petites courbes *ef* et *cd* (fig. 153), qui sont concaves.

Les petites masses d'eau tirent *ab* de haut en bas, et leur poids est soutenu par l'attraction des parties du verre qui touchent les molécules supérieures du liquide, ou qui sont immédiatement au-dessus.

Lorsqu'il y a deux lames de verre *ab* et *ef* suffisamment écartées (fig. 154), la surface de l'eau nous paraît horizontale, parce que le plan *gh* est bien plus étendu que les surfaces courbes *dh* et *cg;* mais si l'intervalle qui sépare les deux lames est très-petit, les parties *dh* et *cg* se croisent de manière que nous voyons la surface *o* du liquide au-dessus du niveau *pn* (fig. 155).

L'esprit de vin, plus léger que l'eau, s'élève moins que ce dernier liquide, parce que le verre a moins d'attraction pour les molécules du premier. L'eau ne monte plus au-dessus du niveau, quand les deux lames sont couvertes de matières grasses qui n'ont point d'attraction pour cette liqueur.

Le mercure se tient au-dessous du niveau, parce que l'attraction du verre pour le mercure est moindre que celle qui règne entre les molécules de ce métal.

Quand on plonge une lame de verre *ab* dans un bain de mercure (fig. 156), ce liquide s'en éloigne et forme deux surfaces convexes *e* et *d*, le point de la petite masse déprimée augmente avec la cohésion des molécules du liquide et produit une force qui soulève *ab* de bas en haut.

S'il y a deux lames *ab* et *ef* qui soient assez écartées l'une de l'autre (fig. 157), on aura une surface horizontale *gh* et deux convexes *cg* et *dh;* mais quand les deux lames se rapprochent, les parties *dh* et *cg* se croisent, de manière que la surface du liquide se trouve au-dessous du niveau *gh* (fig. 158).

Une expérience du citoyen Casbois prouve que la dépression du mercure vient de l'humidité qui s'attache à la surface du verre et qui diminue son attraction pour le mercure.

Théorie de Laplace.

426. D'après la théorie de Laplace, les phénomènes capillaires dépendent uniquement de la forme du ménisque observé dans les tubes. Il a démontré que suivant qu'il est *concave* ou *convexe*, il exerce une action attractive *plus* ou *moins forte* sur la colonne située au-dessous de lui, et il a établi :

1° Que le liquide contenu dans les deux branches d'un tube recourbé y reste de niveau quand il s'y termine par une surface plane, ou par un ménisque concave ou convexe;

2° Que si le liquide se termine par un ménisque concave dans une branche

èt par une surface plane dans l'autre, il montera beaucoup plus haut dans la première que dans la seconde, parce qu'il y sera soutenu par l'action ascendante qu'exerce la concavité de la courbe qui le termine;

3° Que si le liquide, se terminant toujours dans une des branches par une surface plane, présente dans l'autre un ménisque convexe, l'inégalité de niveau aura encore lieu, mais dans un sens contraire, c'est-à-dire que le liquide sera plus bas du côté du ménisque convexe, parce que son action pour le faire monter est moindre que celle de la surface plane;

4° Enfin, que si le ménisque est concave dans une branche et convexe dans l'autre, la différence de niveau est la plus grande possible.

Des attractions et répulsions qui résultent de la capillarité.

427. Les attractions et répulsions que présentent les petits corps ronds que l'on fait flotter sur les liquides, sont dues aux différences de niveau qu'ils produisent.

EXPÉRIENCES.

428. Ire. Si l'on place sur l'eau deux corps qui ne soient pas susceptibles d'en être mouillés, deux petites boules de cire, par exemple, et qu'on les approche insensiblement, on les verra, quand elles seront parvenues à une très-petite distance, s'avancer rapidement l'une vers l'autre et se réunir. Ainsi, à la distance *ab*, elles sont sans action, et à la distance *a'b'*, elles s'attirent (fig. 159).

IIe. Deux balles de liége ou de bois, qui se mouillent également, produisent le même effet, lorsqu'elles flottent sur l'eau.

IIIe. Enfin, deux boules qu'on fait nager, mais dont l'une est susceptible d'être mouillée sans que l'autre le soit, se repoussent toujours quand elles arrivent à une très-petite distance (fig. 160).

Tous ces effets sont le résultat des élévations et des abaissemens du niveau que leur présence détermine à la surface du liquide.

429. Les cylindres flottans peuvent, pour ces phénomènes, être assimilés aux balles flottantes; seulement, à cause de leur forme, ils offrent quelques particularités faciles à observer.

Dès qu'ils sont à la distance capillaire, il s'attitent et se rangent parallèlement; s'ils ont une égale longueur, leurs extrémités se mettent au même niveau, et si on les écarte de cette position, en les poussant longitudinalement, ils y reviennent par une suite d'oscillations. C'est ce que l'on peut vérifier avec des aiguilles ordinaires légèrement enduites d'huile et posées avec précaution sur la surface de l'eau (fig. 161).

430. En général, tous les corps flottans éprouvent, par la même cause, des mouvemens plus ou moins rapides lorsqu'ils s'approchent les uns des autres, ou lorsqu'ils approchent des parois contre lesquelles

les surfaces liquides se courbent toujours, soit par ascension, soit par dépression. Par exemple, dans un vase d'eau qui n'est pas plein (fig. 162), tous les petits corps mouillés se précipitent vers le bord, et ceux qui ne le sont pas s'en éloignent; tandis que dans un verre trop plein (fig. 163), c'est le contraire qui arrive.

Il est évident que ces mouvemens dépendent des courbures des surfaces, puisque les mêmes corps qui se fuient ou qui s'attirent sur l'eau, n'exercent aucune action, à distance égale, dans le vide ou même dans l'air, ou dans d'autres milieux qui les enveloppent de toutes parts.

De l'absorption et de la filtration.

431. *L'action absorbante* que les corps poreux exercent sur les liquides qui les peuvent mouiller, est évidemment une action capillaire. Tous leurs petits interstices sont analogues à des tubes plus ou moins fins; leurs parois se revêtent d'abord d'une couche liquide, et cette couche agit ensuite pour attirer le liquide voisin en vertu de sa densité, et pour le retenir en vertu de sa cohésion. La rapidité de l'absorption dépend en général de la forme des pores du corps absorbant, de l'attraction que, par sa nature, il exerce sur l'air dont il est imprégné, de celle qu'il opère sur le liquide, et enfin de celle que le liquide exerce sur lui-même.

432. La *filtration* de l'eau à travers les *pierres à filtrer*, ou au travers du sable et du charbon, celle des liqueurs spiritueuses au travers du papier sans colle, et celle de plusieurs liquides au travers des tissus de laine ou de coton, sont autant d'exemples de l'absorption que certains corps exercent sur certains liquides. Car un filtre n'agit pas comme un crible, pour arrêter seulement les parcelles qui sont trop grosses, mais il se mouille par la capillarité; il transmet le liquide indépendamment de la pression, et toutes les gouttes qui passent ont été, dans leur trajet sinueux, constamment soumises à une attraction plus ou moins forte.

Applications à l'économie végétale et animale, à quelques usages domestiques et aux arts.

1° C'est à l'aide d'une action capillaire que l'eau s'introduit dans les végétaux et les nourrit: elle s'y élève des racines d'une plante ou d'un arbre jusqu'aux extrémités des branches et des feuilles; et cet effet dépendant de leur tissu, il subsiste encore dans les parties qu'on a séparées de la plante et privées de vie, comme on peut le remarquer sur un tronçon de branche d'arbre, qui, plongé dans l'eau par une de ses extrémités, s'imbibe de ce fluide jusqu'à l'autre.

2° On ne peut douter que le même genre d'action ne favorise aussi l'absorption des matières nutritives le long du canal digestif des animaux; car ce canal est criblé d'une multitude de petites ouvertures par lesquelles les matières alimentaires liquéfiées pénètrent dans les canaux qui les conduisent d'une manière conforme au but de la nature. Il est vrai que l'action de la vie modifie beaucoup, surtout chez les animaux, celle des forces physiques; mais ces dernières ne doivent pas pour cela être négligées dans l'explication des phénomènes; car certainement elles agissent, ou du moins elles tendent à agir.

3° Dans les usages ordinaires, des effets analogues se répètent continuellement sous nos yeux : un morceau de sucre que l'on plonge par une pointe dans le café, en tenant le reste du morceau plus élevé, malgré cette précaution, s'humecte jusqu'à la partie opposée. Cet effet n'est pas dû à la propriété qu'a le café de fondre le sucre; car il a lieu aussi rapidement si le liquide est de l'eau-de-vie, quoique le sucre s'y fonde difficilement, et on le remarque même dans l'alcohol, où il ne se fond pas du tout.

De même l'eau monte à la cime d'un amas de cendre ou de sable dont elle n'arrose que la base, parce que les petits espaces qui existent entre les particules de sable ou de cendre font l'effet de tubes capillaires.

Enfin, quand l'huile s'élève pour alimenter, dans une lampe ou une veilleuse, la flamme d'une mèche de coton ou d'amiante, c'est encore par un effet semblable, et on en peut observer sur une multitude de corps que Muschenbroeck avait, très-improprement à la vérité, appelés les *aimans des fluides*.

4° Les dendrites ou herborisations qui ornent la surface de certaines pierres calcaires ou marneuses, sont dues à une cause semblable. Parmi ces pierres, les unes sont pleines de fissures, dans lesquelles un liquide chargé de molécules de manganèse ou autre, s'est introduit et a laissé de petits dépôts métalliques; et comme les fissures forment des espèces de ramifications qui, assez souvent, communiquent à une fissure principale, l'artiste a soin de couper la pierre dans le sens convenable, pour que toutes ces ramifications se développent sur un même plan, en sorte qu'elles s'offrent sous l'aspect d'un petit arbre, dont le tronc est à l'endroit de la fissure principale. Il y a d'autres pierres composées de feuillets entre lesquels un liquide semblable a pénétré et s'est étendu par veines, en formant des dendrites composées de particules métalliques rangées à la file les unes des autres. Dans ce cas, on se contente de détacher les feuillets, et l'on a, sur chacune des faces qui se joignaient, un petit tableau qui est tout entier l'ouvrage de la nature.

LEÇON XXVIIe.

DE LA PESANTEUR SPÉCIFIQUE.

Ce qu'il faut entendre par poids spécifiques. Différens moyens en usage pour déterminer ceux des corps solides et liquides. — Des aréomètres. — Des pèse-liqueurs. — Densité des gaz. — Tableau offrant les densités des principaux corps de chaque espèce. — Application du principe d'Archimède à la recherche de l'unité de poids du nouveau système métrique. — Utilité que retirent l'Histoire naturelle, la Marine, le Commerce et les Arts de la connaissance des densités des corps.

433. On a vu que la *densité* des corps est la quantité de matière propre qu'ils renferment sous un volume connu (144).

Ainsi, un corps est plus *dense* qu'un autre, quand, à volume égal, il réunit plus de molécules matérielles.

434. Par *pesanteur spécifique* ou plus exactement par *poids spécifique*, on entend le nombre qui exprime le rapport de la densité d'un corps avec celle d'une substance qui lui sert de terme de comparaison et représente conséquemment l'*unité de densité*.

435. Pour comparer les densités des différens corps solides et liquides, on les rapporte à celle de l'eau distillée à la température de 4 degrés. On a choisi ce liquide parce qu'il est très-répandu à la surface du globe; on le prend purifié par la distillation et à une température déterminée, parce que sa densité varie avec les substances étrangères qu'il renferme et les diverses augmentations ou diminutions de chaleur.

D'après cela, la *pesanteur spécifique* ou le *poids spécifique* d'un corps, est le nombre de fois que le poids de ce corps contient celui d'un égal volume d'eau distillée à la température de 4°.

Le poids de l'eau devient donc l'unité de mesure dans l'estimation des densités.

Détermination des poids spécifiques des corps solides.

436. Pour trouver la pesanteur spécifique d'un corps, il faut connaître le poids de ce corps et celui d'un égal volume d'eau, diviser le premier par le second; le quotient sera le poids spécifique demandé.

Or, le poids du corps est facile à connaître, et celui d'un volume égal d'eau s'obtient au moyen du principe d'Archimède (336).

On devra donc, pour avoir le poids spécifique d'un corps, le peser successivement dans l'air et dans l'eau, puis diviser le premier résultat par sa perte dans l'eau.

EXEMPLE.

Supposons qu'un morceau d'or pèse dans l'air	7gr,909
et dans l'eau	7 ,503
Sa perte dans l'eau sera	0gr,406

De sorte qu'on aura $\frac{7^{gr},909}{0,406}$ ou $\frac{7909}{406} = 19^{gr},5$ pour la pesanteur spécifique de l'or.

437. On peut se servir d'une balance ordinaire pour faire ces opérations : alors on pèse le corps dans l'air, comme cela se pratique communément, puis on le pèse dans l'eau après l'avoir suspendu dans un vase plein de ce liquide, au moyen d'un fil attaché à la partie inférieure d'un des plateaux de la balance.

Ce procédé réunit à l'avantage d'une parfaite précision, celui de pouvoir être employé en grand, par exemple, pour obtenir le poids spécifique d'une masse de fonte, de bronze, d'une feuille de tôle, etc.

438. On suit encore un autre moyen que voici :

On pèse d'abord un flacon bouché à l'émeri, plein d'eau distillée, d'environ deux décilitres de capacité. On cherche le poids du corps dans l'air ; ensuite on l'introduit dans le flacon, ce qui en fait sortir un volume d'eau égal au sien ; on pèse de nouveau le flacon, puis on retranche cette pesée de la somme des deux premières, la différence donne le poids du volume d'eau déplacée ; enfin on cherche combien le poids du corps contient ce dernier, et le quotient exprime la densité du corps solide soumis à l'opération.

EXEMPLE.

Ayant trouvé pour le poids du flacon plein d'eau	183gr,5496
Pour celui d'un fragment d'argent dans l'air	22 ,4674
Somme	206gr,017
Pour le poids du flacon contenant l'eau et le corps	203 ,872
Différence ou poids de l'eau déplacée	2gr,145

On a conséquemment $\frac{22,4674}{2,145}$ ou $10^{gr},4743$ pour le poids spécifique de l'argent.

439. Si le corps était plus léger que l'eau, on ferait la même opération pour obtenir la densité.

Par exemple, qu'un morceau de bois, pesant dans l'air $1^{g},253$, ait fait sortir du flacon $1^{g},847$ d'eau, sa densité serait $\frac{1,253}{1,847}$ ou $0^{g},678$.

Remarque. Ce dernier procédé est surtout avantageux pour la détermination des densités ou poids spécifiques des corps en poudre, comme le sable, le

charbon, etc. Alors il faut avoir soin de placer le flacon renfermant l'eau et la poudre, sous la machine pneumatique, afin de faciliter par le vide le dégagement de l'air interposé.

440. Si la substance avait de l'action sur l'eau, si c'était, par exemple, un sel soluble, on prendrait sa densité par rapport à un liquide sur lequel il n'aurait pas d'action, et dont on connaîtrait la densité rapportée à celle de l'eau.

Du poids spécifique des liquides.

441. Pour trouver les densités des *liquides*, on prend un vase qui se ferme bien hermétiquement, et d'un poids bien connu; on le pèse alternativement rempli du liquide dont on cherche le poids spécifique, et rempli d'eau distillée; ces deux derniers poids, diminués de celui du vase, laissent deux différences qui, divisées l'une par l'autre, donnent pour quotient le poids spécifique cherché.

EXEMPLE.

Soit à déterminer la pesanteur spécifique de l'alcohol, et qu'on ait trouvé,

1° Le poids du vase plein de ce fluide, égal à.................	145^{g},091
vide d'alcohol........................	92,471
Différence ou poids de l'alcohol........................	52,920
2° Le poids du vase plein d'eau........................	178,456
vide d'eau........................	106,473
Différence ou poids de l'eau........................	66^{g},983

La densité de l'alcohol est donc $\frac{52,920}{86,983}$ ou 0^{gr},79.

Il est à remarquer qu'on se dispense ici de faire le vide dans le vase, à cause de l'extrême différence qui existe entre la densité de l'air et celle du liquide le plus léger.

Ordinairement aussi, on compare les deux densités de l'eau distillée et du liquide soumis à l'opération, à la température des corps environnans.

Des Aréomètres.

442. On nomme *aréomètres*, des instrumens inventés pour déterminer plus promptement les densités des liquides dans lesquels ils s'enfoncent.

443. On distingue deux sortes d'aréomètres, celui à volume constant et celui à volume variable. Leur construction est fondée sur le principe d'Archimède (336).

Aréomètre de Fahrenheit.

444. L'aréomètre de Fahrenheit est à volume constant. Il consiste en un tube de verre *ab* (fig. 164), surmonté d'un petit

bassin propre à recevoir des poids, et terminé à sa partie inférieure par une boule *m* renfermant du mercure ou du plomb pour maintenir l'instrument dans un équilibre stable; un trait *n* est tracé sur le tube, de manière qu'il reste toujours au-dessus du niveau du liquide, même le plus léger, dans lequel on le plonge.

Dans chaque expérience, on force l'instrument à descendre dans le liquide jusqu'au trait *n* en mettant des poids dans le bassin; ce qui s'appelle *affleurer* l'aréomètre. Or, il est évident que le poids de l'appareil, joint à ceux employés pour produire l'*affleurement*, donne le poids du volume du liquide déplacé; et, comme ce dernier est constant dans chaque expérience, la différence des *poids additionnels* fera connaître les densités.

APPLICATION.

Supposons qu'avec un aréomètre pesant 35 grammes, on veuille avoir les densités de deux liquides quelconques rapportés à l'eau distillée.

Concevons que les poids additionnels nécessaires pour déterminer l'affleurement dans les liquides, soient $12^g,56$ et $3^g,8$, celui qu'il faut ajouter pour produire le même effet dans l'eau étant 5 grammes.

Si l'on ajoute le poids de l'instrument aux poids additionnels, leurs sommes $47^g,56$, $38^g,8$ et 40^g, représenteront les poids respectifs des volumes égaux, déplacés dans les trois liquides par l'aréomètre, lesquels sont conséquemment proportionnels à ces nombres. Mais l'eau distillée devant être prise pour terme de comparaison, il faut diviser les deux premiers poids par 40; et les densités des liquides proposés, ou leurs poids spécifiques, seront 1,189 et 0,97, celle de l'eau étant 1.

445. Il résulte de ce qui précède que pour *déterminer les poids spécifiques de plusieurs liquides*, en prenant l'eau pour l'unité de densité, il suffit de faire plonger l'aréomètre à une même profondeur dans chacun des liquides, en le chargeant des poids nécessaires, et de diviser ces poids joints successivement à celui de l'aréomètre, par le poids correspondant à l'eau distillée augmenté aussi du poids de l'instrument.

Aréomètre de Nicholson.

446. L'aréomètre de Nicholson n'est que l'instrument précédent, auquel ce physicien a ajouté un petit cône renversé et concave qu'on adapte, à volonté, à la partie inférieure. Cet aréomètre (fig. 165), construit en métal, est une petite balance hydrostatique, avec laquelle on peut obtenir les densités des corps solides.

Pour l'employer à cet usage, on place le corps proposé dans la cuvette supérieure, et en ajoutant des poids, on force l'aréomètre à descendre dans l'eau jusqu'au trait *n* marqué sur la tige *ab*. On retire le corps et on y substitue les poids nécessaires pour ramener

l'affleurement *; il est clair que ces poids, produisant le même effet que le corps, représentent son poids dans l'air. On place ensuite le corps dans le cône C, et comme il perd de son poids alors qu'il est plongé dans l'eau, on est obligé de charger encore l'instrument pour le faire affleurer; cette nouvelle charge est le poids d'un volume de fluide égal à celui du corps immergé : divisant donc par ce dernier poids celui du corps obtenu dans l'air, on en aura la densité.

447. Lorsque la substance proposée est spécifiquement plus légère que l'eau, on la fixe au cône C, par une attache qui fait partie de l'aréomètre; et pour effectuer l'affleurement, on est obligé d'employer un poids plus grand que celui de la substance. Dans ce cas, le poids du corps divisé par celui du volume d'eau déplacé ne donne qu'une fraction.

448. Si l'aréomètre et le corps étant plongés dans l'eau, on les voit monter et descendre alternativement, c'est une preuve que le corps est devenu spécifiquement plus lourd pendant l'opération. Ceci arrive à tous les corps qui s'imbibent d'eau; alors on cherche, en pesant le corps sec et imbibé, la quantité de liquide dont il se charge; on l'ajoute à la perte trouvée d'abord afin d'avoir la perte totale, c'est-à-dire celle qui aurait lieu si le corps n'était pas susceptible d'imbibition; puis on finit l'opération comme précédemment.

APPLICATION.

Supposons qu'une substance pèse 8 grammes avant l'imbibition, qu'elle absorbe 3 décigrammes d'eau pendant l'opération, et que la perte qu'elle a faite de son poids dans ce liquide soit de 5 grammes; comme les corps, à volume égal, perdent d'autant moins de leur poids dans un fluide qu'ils sont plus denses, il s'ensuit que le corps dont il s'agit a perdu 3 décigrammes de moins que dans le cas où l'imbibition n'aurait pas eu lieu : il faut donc ajouter 3 décigrammes à la perte trouvée, qui est de 5 grammes; alors la perte corrigée devient $5^g,3$ et le poids spécifique de la substance considérée comme exempte d'imbibition, sera de $\frac{80}{53}$ ou de $1^g,509$, à un milligramme près.

Des Aréomètres à volume variable.

449. Les aréomètres à volume variable sont tous à volume constant; ils donnent immédiatement les densités, sans le secours de poids, au moyen d'une graduation.

450. La figure 166 représente un de ces instrumens; il diffère

* Il est entendu que l'usage de cet instrument est limité aux corps dont le poids dans l'air n'excède pas cette première charge.

de l'aréomètre de Fahrenheit en ce que la tige est plus fine et renferme intérieurement une bande de papier, fixée avec soin pour porter les divisions qui marquent les densités. Le poids de cet aréomètre étant constant, il en résulte que les densités des liquides dans lesquels il s'enfonce, sont entre elles en raison inverse des volumes plongés. C'est d'après ce principe qu'on fait la graduation, et l'on écrit, sur la bande de papier qui sert d'échelle, les nombres qui expriment directement les densités des liquides. Ainsi, quand l'aréomètre s'enfonce jusqu'au nombre 12, la densité est 12; s'il n'enfonce que jusqu'à 9, la densité est 9, etc.; la densité de l'eau est ici représentée par 10.

Globules aréométriques de Wilson.

451. Pour déterminer promptement le poids spécifique des liquides, on pourrait employer les *globules aréométriques de Wilson* : c'est une série de petites balles de verre creuses, différant l'une de l'autre quant au poids spécifique; lorsqu'on en jette dans le liquide une certaine quantité, toutes celles qui sont plus lourdes tombent au fond; celles, au contraire, qui sont plus légères, remontent à la surface; on lit alors le poids spécifique du liquide sur celles qui y flottent à son intérieur, sans s'élever ni s'abaisser, car toutes ces petites sphères portent un numéro.

Des Pèse-liqueurs en usage dans le Commerce.

452. Les *pèse-liqueurs* sont des espèces d'aréomètres, dont la graduation n'a pas pour objet de donner les poids spécifiques des liqueurs dans lesquelles on les plonge, mais d'indiquer leur *degré de coucentration.*

Les *acides* sont *étendus* d'une quantité d'eau plus ou moins grande, les *dissolutions salines* sont plus ou moins *saturées*, les *eaux-de-vie* et les *esprits* sont plus ou moins *riches en alcohol;* et l'on a fait des *pèse-acides*, des *pèse-sels* et des *pèse-esprits*, pour reconnaître immédiatement les différens états dans lesquels les liquides peuvent se présenter.

453. Le *pèse-acide*, autrement appelé l'*aréomètre de Beaumé,* présente la figure d'un aréomètre à volume variable; mais il en diffère essentiellement par la graduation. Au point où il s'arrête dans l'eau pure, on marque *zéro;* au point où il s'arrête dans un mélange de 85 parties d'eau et de 15 de sel ordinaire, on marque 15; on divise l'intervalle en 15 parties, et l'on continue les divisions au-dessous.

D'après cela, deux dissolutions saturées à divers degrés indiqueront

évidemment des degrés différens sur l'aréomètre : la plus saturée marquera des degrés plus élevés ; mais on n'en pourra rien conclure directement, ni sur les densités réelles de ces dissolutions, ni sur les proportions de sel qu'elles contiennent.

454. Les *pèse-sels* et les *pèse-esprits* sont gradués d'après des principes analogues ; ils sont donc, comme le *pèse-acide*, des instrumens de commerce, plutôt que des instrumens de Physique ; car le degré aréométrique sert à régler le cours des marchandises, sans rien indiquer sur la juste proportion des élémens qui les constituent.

Densité des Gaz.

455. Dans la recherche du poids spécifique des *gaz*, on choisit l'air pour unité de densité, parce que ce fluide se trouve partout composé des mêmes élémens chimiques et dans la même proportion.

456. Pour obtenir les densités des gaz par rapport à l'air, il suffit de peser un volume d'air et un pareil volume de chacun des autres gaz, à la même température et à la même pression. On y parvient en prenant un grand ballon de 8 ou 10 litres de capacité, que l'on pèse après y avoir fait le vide, et que l'on pèse encore successivement rempli d'air sec et des gaz de différente nature dont on veut connaître les poids spécifiques.

Mais, comme il est impossible de faire le vide parfait, on tient compte, par le calcul, de la petite quantité d'air qui reste ; et parce que les pesées ne se font pas dans des circonstances parfaitement semblables, il est nécessaire d'effectuer aussi de nombreuses corrections relatives aux variations de température, de pression et d'humidité de l'air extérieur, afin que l'opération conduise à des résultats exacts.

C'est en observant toutes ces précautions qu'on a trouvé qu'un litre d'air pèse, à 0° et sous la pression de 76 centimètres, 1 *gramme* 299 *milligrammes*. Et, la densité de l'air étant prise pour *unité*, MM. Arago et Biot ont reconnu que celle de l'oxigène était 1,4 ; celle de l'hydrogène de 0,033 ; celle de la vapeur d'eau 0,623, etc.

Tableau des densités des principaux corps.

SOLIDES.

Platine	laminé	22,0690	Cuivre en fil	8,8785
	forgé	20,3366	Cuivre rouge coulé	8,7880
	purifié	19,5000	Acier non écroui	7,8163
Or	forgé	19,3617	Fer en barre	7,7880
	fondu	19,2581	Étain coulé	7,2914
Plomb fondu		11,3523	Fer fondu	7,2070
Argent coulé		10,4743	Zinc fondu	6,8610

SUITE DES SOLIDES.

Rubis oriental	4,2833	Émeraude verte	2,7755
Saphir oriental	3,9941	Perles	2,7500
Topaze orientale	4,0106	Ivoire	1,9170
Saphir du Brésil	3,1307	Bois de hêtre	0,8520
Topaze de Saxe	3,5640	Frêne	0,8450
Diamans les plus lourds (légèrt rosés)	3,5310	Tilleul	0,6040
Diamans les plus légers	3,5010	Bois de cèdre	0,5610
Tourmaline (verte)	3,1555	Peuplier ordinaire	0,3830
Saphir d'eau des lapidaires	2,8000	Liége	0,2400

LIQUIDES.

Mercure	13,5980	Vin de Bordeaux	0,9939
Acide sulf. (huile de vitriol)	1,8409	Vin de Bourgogne	0,9915
Eau de mer	1,0263	Huile d'olive	0,9153
Eau distillée	1,0000	Alcohol absolu	0,7920
Lait	1,0300	Éther sulfurique	0,7155

GAZ.

Air atmosphérique	1,0000	Azote	0,9757
Acide carbonique	1,5245	Hydrogène	0,0688
Oxigène	1,1026	Vapeur d'eau	0,6235

REMARQUE. Ces poids spécifiques ont été déterminés en prenant l'eau distillée pour l'unité de densité relative aux solides et aux liquides, et l'air pour l'unité comparative des gaz, la température étant pour tous ramenée à 0°, sous une pression de 760 millimètres.

Usage du tableau précédent.

Cette table sert à trouver le poids du mètre cube de chaque substance qu'elle contient, en multipliant le nombre qui exprime son poids spécifique par 1000 kilogrammes, densité de l'eau.

Elle donne aussi le moyen d'en calculer le poids d'un volume quelconque. Par exemple, supposons qu'une portion de barre d'or, fondu ou coulé, ait 6 centimètres de longueur, 5 de largeur et 4 d'épaisseur; son volume sera de 120 décimètres cubes, et la connaissance du poids d'un centimètre cube suffira pour déterminer celui du volume entier. Or, par ce qui vient d'être dit, le mètre cube d'or fondu pèse 19,258 × 1000 kil. ou 19258 kilogrammes, et 1 mètre cube contenant 1000000 centimètres cubes, cette dernière unité vaut 0,019258; en sorte que les 120 centimètres cubes valent 2k,3109 à un décigramme près; ainsi, le poids de la portion de barre d'or est de 2k,3109.

Application du principe d'Archimède à la détermination de la nouvelle unité de poids.

Les procédés mis en usage pour obtenir la pesanteur spécifique des corps ont été appliqués à la recherche du *gramme*, l'une des unités principales du nouveau système des mesures métriques.

Pour déduire de la valeur du *mètre*, qui n'est que l'unité de longueur, le poids du *gramme*, on a formé un cylindre dont la capacité était exactement

égale à un centimètre cube; on a pesé le cylindre dans le vide, on l'a pesé ensuite plongé dans l'eau distillée ramenée à son maximum de densité. La différence des deux résultats a donné le poids d'un décimètre cube d'eau distillée, et conséquemment celui du *gramme*.

Le mètre, type commun auquel on rapporte toutes les autres mesures du nouveau système, est l'unité principale des mesures linéaires; il équivaut à la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre, qu'on a trouvé de 5130740 toises; en sorte que sa longueur est de $0^t,513074$, ou 3 pieds 11 lignes 0,3 à peu près.

Applications à l'Histoire naturelle, à la Marine, au Commerce et aux Arts.

1° Les moyens de déterminer la pesanteur spécifique des corps, déjà si utile au physicien, offrent aussi de grands avantages au naturaliste, en lui donnant un des caractères les plus décisifs pour la distinction des minéraux. Ainsi, ce dernier évite de confondre le *saphir d'eau* des lapidaires, qui n'est qu'une variété du cristal de roche, avec le véritable *saphir oriental*, par la comparaison de leurs poids spécifiques; or, le premier est 2,8, tandis que celui de la pierre précieuse vaut à peu près 4. Dans ce cas, on est d'autant plus intéressé à éviter la méprise, que la différence des prix surpasse de beaucoup celle de leurs densités.

2° Dans la Navigation, on a su mettre encore à profit ces connaissances: ayant appris au marin que l'eau salée était plus dense que l'eau douce, et conséquemment que l'eau de mer se trouvait spécifiquement plus lourde que l'eau des fleuves, il s'est dès lors prémuni contre les dangers qu'il courrait en passant de la mer dans les fleuves. Un œuf qui flotte sur de l'eau salée, s'enfonce dans l'eau douce; et souvent on a vu, quand on ne tenait pas compte de la différence de densité, des bâtimens fortement chargés, après avoir long-temps vogué sans accident sur la mer, faire naufrage en entrant dans un fleuve, où l'eau douce n'est plus assez dense pour les soutenir.

3° Le Commerce se sert des différens aréomètres pour juger de la valeur des esprits et des eaux-de-vie, d'après la richesse en alcohol et en densité que ces liqueurs présentent.

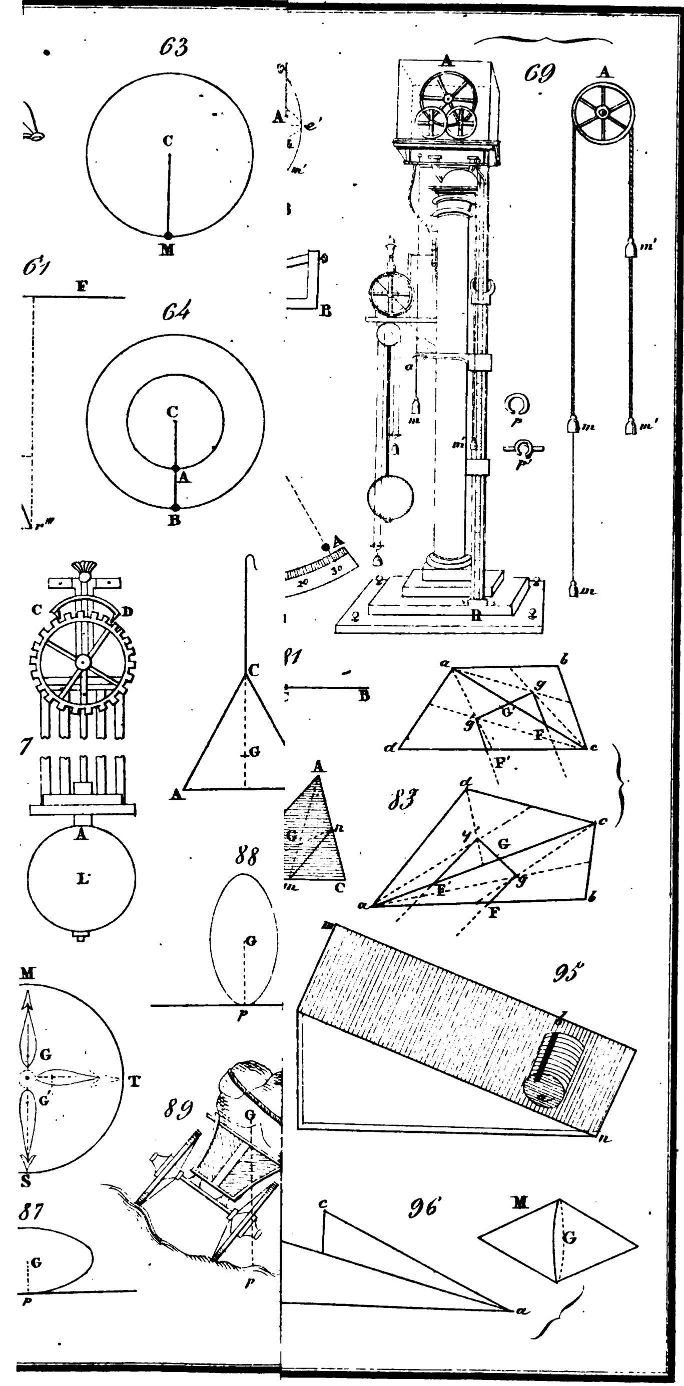
4° Le lapidaire, le bijoutier et tous les acheteurs ou échangeurs de diamans, ont besoin de savoir en déterminer les poids spécifiques, afin de s'assurer de la pureté de ceux qui leur sont offerts, et, par ce moyen infaillible, de connaître les légères nuances qui distinguent les pierres fines de celles qui ne le sont pas, se garantir de la fourberie des charlatans et des fripons.

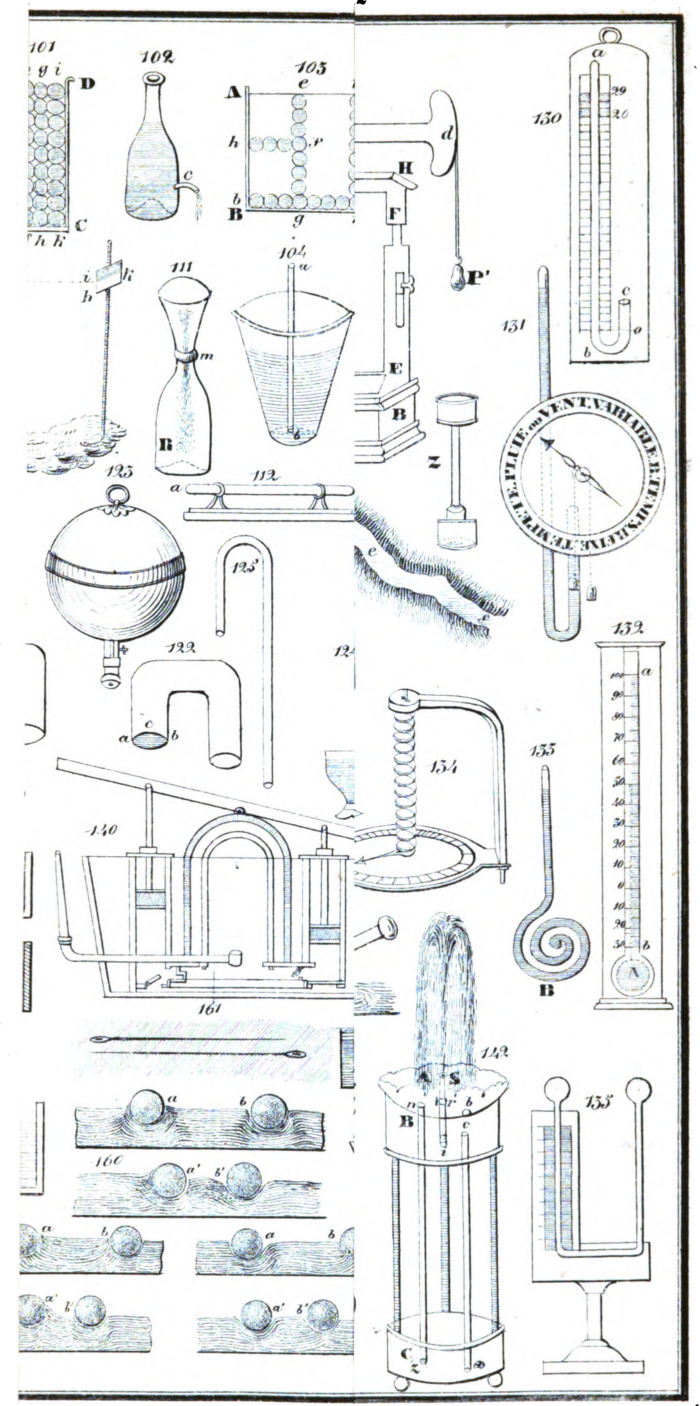
Enfin, on peut découvrir jusque dans quelle proportion se trouvent plusieurs métaux qui entrent dans un alliage, en se conduisant comme on l'a expliqué au sujet de la couronne d'Hiéron.

FIN.

TABLE DES LEÇONS.

FIN DE LA TABLE.


63
C
M
64
C
A
B
69
A
m'
m
p
p'
C
D
A
L
G
A
a
b
g
G'
g'
F
d
c
F'
83
d
c
G
g
a
b
F
88
G
p
M
G
T
G'
S
87
G
p
89
G
p
95
96
c
a
M
G



Lithographie de Paullet, à Nancy.




APR 29 1899

